

Leonardo de Aguiar Corrêa

**MÉTODO PARA FORMULAÇÃO DE PACOTES DE
TRABALHO PARA OBRAS REPETITIVAS COM O USO DO
BIM 4D**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Dr. Fernanda
Fernandes Marchiori

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Corrêa, Leonardo de Aguiar

Método para formulação de pacotes de trabalho
para obras repetitivas com o uso do BIM 4D /
Leonardo de Aguiar Corrêa ; orientadora, Fernanda
Fernandes Marchiori, 2019.

176 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Planejamento da
Construção Civil. 3. Construção Enxuta. 4. BIM 4D. 5.
Obras repetitivas. I. Marchiori, Fernanda
Fernandes. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. III. Título.

Leonardo de Aguiar Corrêa

**MÉTODO PARA FORMULAÇÃO DE PACOTES DE
TRABALHO PARA OBRAS REPETITIVAS COM O USO DO
BIM 4D**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Local, 25 de março de 2019.

Prof. Roberto Lamberts, Dr.
Coordenador do PPGEC

Prof.^a Fernanda Fernandes Marchiori, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Orientadora

Banca Examinadora:

Prof. Eduardo Luis Isatto, Dr. (videoconferência)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Devis Luis Marinoski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Este trabalho é dedicado aos meus pais,
Valdir Corrêa e Janete de Aguiar
Corrêa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFSC e a CAPES, por possibilitarem a realização desta pesquisa.

Agradeço à Profa. Fernanda Fernandes Marchiori, pela dedicação, ensinamentos, auxílio e oportunidades oferecidas durante o desenvolvimento da dissertação.

Agradeço à minha esposa Laíla Flávio Riberio, obrigado por todo amor, carinho, paciência, dedicação, compreensão, inspiração e por me fazer tão feliz.

Aos meu pais, Valdir Corrêa e Janete de Aguiar Corrêa, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Às minhas irmãs Milena e Karina, às minhas sobrinhas Gabriela, Sara, Marcela e Lívia e aos meus cunhados Marcelo e Winnetou. Aos meus sogros, João Carlos e Regina. Obrigado a todos por sempre me apoiarem e me acolherem em todos os momentos.

Aos membros da banca de defesa, Prof. Eduardo Luis Isatto, Dr., Prof. Deivis Luis Marinoski, Dr., Prof. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr. e aos membros da banca de qualificação Prof. Ricardo Mendes Junior, Dr., e Prof. Antonio Edesio Jungles, Dr. Obrigado pela atenção, contribuições e conselhos durante o decorrer da dissertação.

Agradeço meus amigos que sempre me apoiaram. Aos meus colegas do GESTCON, Jamil, Humberto, Camila, João Paulo, Eloisa, Rafael, Thiago, Talita, Shala, Cláudia, Alexandre e Frederico pelos momentos compartilhados no laboratório e eventos.

“Chi poco pensa, molto erra.”
Leonardo da Vinci

RESUMO

Sistemas de produção temporários, projetos únicos, produtos fixos, processos de produção fragmentados, baixa repetitividade e recursos compartilhados por diferentes frentes de serviço são algumas das características intrínsecas da construção civil que ilustram sua complexidade. A implementação de conceitos da construção enxuta na formulação dos pacotes de trabalho visando estabilizar o fluxo de trabalho, puxar o fluxo de recursos e melhorar o controle da qualidade no processo, exige a otimização do fluxo de informações. Frente a esse contexto, o BIM 4D é uma abordagem para ajudar a introduzir inovações na construção e melhorar o fluxo de informações de projeto e construção. O objetivo desta pesquisa é conceber um método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D. O *Design Science Research* foi adotado como método de pesquisa, abrangendo três estudos empíricos em duas empresas de construção distintas. A principal contribuição desta pesquisa, refere-se à proposta do método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D por meio de cinco passos. Foram desenvolvidos dois modelos BIM para os pavimentos tipo dos empreendimentos estudados, formulados pacotes de trabalho de nível estratégico, tático e operacional, estabelecidas fichas de pacote de trabalho integradas ao planejamento da obra e ao processo do *Last Planner System*, até o nível diário de programação da produção. O método proposto aproxima o BIM do canteiro de obras, por meio de aplicações simplificadas que agregam valor na visão da equipe de projeto e engenharia e que facilite a gestão da equipe de engenharia e obra, com um modelo virtual que representa a realidade do que será executado, permitindo a gestão antecipada de conflitos nos fluxos de trabalho e recursos, evitando retrabalhos e reduzindo a variabilidade do sistema produtivo com a estabilização dos ciclos de produção estabelecidos para os pacotes de trabalho de obras repetitivas.

Palavras-chave: Planejamento da Construção Civil. Construção Enxuta. BIM 4D. Obras Repetitivas.

ABSTRACT

Temporary production systems, single projects, fixed products, fragmented production processes, low repeatability and resources shared by different work fronts are some of the inherent characteristics of civil construction that illustrate its complexity. The implementation of lean construction concepts in development of work packages aiming to stabilize the workflow, pull the flow of resources and improve the quality control in the process, requires the optimization of the flow of information. Upon this background, 4D BIM is an approach to assist the introduction of innovations in construction and enhance the flow of design and construction information. The objective of this research is to design a method for formulating work packages for repetitive construction projects with BIM 4D. Design Science Research was adopted as a research method, covering three empirical studies in two different construction companies. The main contribution of this research is a proposal method for formulating work packages for repetitive construction projects with BIM 4D by five steps. Two BIM models were developed for the repetitive floors of multi-storey building projects studied. Strategic, tactical and operational level work packages were formulated, work package forms were integrated with construction planning and with Last Planner System process, applying daily production scheduling. The proposed method brings BIM closer to construction site through simplified applications that add value in project and engineering team's vision and facilitate the management of construction managers with a virtual model that represents reality of site construction, aiding construction flows conflicts management, avoiding rework and reducing production system variability with production cycles stabilization of work packages belonging to repetitive construction projects.

Keywords: Construction Planning. Lean Construction. 4D BIM. Repetitive Construction Projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posição das ferramentas em relação às atividades de planejamento da <i>lean construction</i>	35
Figura 2 – Visão geral dos horizontes de projeto e métodos e técnicas de gerenciamento da produção.....	38
Figura 3 – Gráficos de métodos do planejamento baseado em locais. ...	44
Figura 4 – Comparação entre LdB e <i>Flowline</i>	44
Figura 5 – Aplicação da LdB	47
Figura 6 – Integração entre os três submodelos do BCIM.	49
Figura 7 – Efeito do desenvolvimento dos PT na rede de precedências do cronograma de construção.....	51
Figura 8 – Sete pré-condições de fluxo de recursos do pacote de trabalho.	52
Figura 9 – Matriz de controle do projeto expandida	53
Figura 10 – Pacotização do trabalho (célula de produção).....	54
Figura 11 – Ficha de Pacote de Trabalho de Longo Prazo.....	56
Figura 12 – Ficha genérica de formulação do PT.....	57
Figura 13 – Tela de identificação do PT do programa <i>Intergraph® SmartPlant® Construction</i>	57
Figura 14 – Tela do <i>WorkPlan</i> para inserção das informações do Pacote de Trabalho.....	58
Figura 15 – Tela do <i>WorkPlan</i> : controle dos motivos de não execução do PT	58
Figura 16 – Princípio do Planejamento baseado em locais de pacote de trabalho (PBLPT).....	61
Figura 17 – Sistemática do <i>Last Planner System</i>	68
Figura 18 – Conceito do BIM 4D.....	69
Figura 19 – Passos do planejamento baseado em locais com o uso do BIM 4D.....	72
Figura 20 – Processos de criação do 4D.....	74
Figura 21 – Evolução do processo do chão de fábrica e Modelo conceitual do <i>Digital Twin</i> do chão de fábrica	78
Figura 22 – Detalhamento do ciclo de produção do pavimento tipo.....	80
Figura 23 – Exemplos de Modelo e Elevação de paredes	81
Figura 24 – Metodologia genérica para o <i>DSR</i>	86
Figura 25 – Delineamento da pesquisa.....	89
Figura 26 – Ficha PTE genérica.	92
Figura 27 – Atributos das fichas de PT e critérios de desdobramento ..	93
Figura 28 – Guia de aplicação do método proposto	95
Figura 29 – Planta tipo e fachada do empreendimento A	97

Figura 30 – Imagens do modelo do pavimento tipo para o empreendimento A.	98
Figura 31 – Pacote de Trabalho no nível estratégico para Estrutura de Concreto.	101
Figura 32 – Pacote de Trabalho no nível estratégico para Elevação Alvenaria de Vedação.	102
Figura 33 – LdB desenvolvida para os pavimentos tipo do Empreendimento A.	103
Figura 34 – Comparação entre o executado em obra e o modelo BIM 4D.	104
Figura 35 – Gráfico do planejamento baseado nos locais de pacotes de trabalho.	105
Figura 36 – Representação de determinado instante da linha de balanceamento com o modelo BIM 4D.	106
Figura 37 – Relação entre o Projeto do Sistema de Produção e o Projeto do Sistema de Operação.	107
Figura 38 – Sistemática de transição de PT do Nível Estratégico para Tático e Operacional	108
Figura 39 – Sistemática de transição da LdB do PSP para o PSO.	108
Figura 40 – Captura de tela da obtenção de quantitativos de cada PT no <i>Revit</i>	109
Figura 41a – PT Estratégicos desdobrados em PT Táticos – Elevação de Alvenaria.	110
Figura 41b – PT Estratégicos desdobrados em PT Táticos – Elevação de Alvenaria.	111
Figura 42 – Lógica de desenvolvimento dos PT do nível estratégico para o tático e operacional.	112
Figura 43 – Discussão da equipe de produção sobre elevação de paredes do PTO9.	113
Figura 44 – Seleção e classificação dos elementos pertencentes ao PTO7.	114
Figura 45 – Tabela gerada pelo <i>Revit</i> para obtenção de quantitativos para cada PTO.	115
Figura 46 – Ficha “PTO 07 – Elevação Alvenaria Interna”.	115
Figura 47 – Comparação entre “PTT 02.1 – Elevação Alvenaria” e o executado em obra.	116
Figura 48 – Proposta inicial do método de desenvolvimento dos PT.	117
Figura 49 – Modelo BIM 4D e exemplo de disciplinas.	119
Figura 50 – Exemplos de pacotes de trabalho apresentados para equipe de obra e engenharia de acordo com a sequência executiva.	120

Figura 51 – Exemplos modelo de apresentação da sequência executiva.	121
Figura 52 – Linha de Balanceamento do Empreendimento “B” desenvolvida com WELOB.	122
Figura 53 – Fichas de PTEs elaboradas para o Empreendimento “B”.	123
Figura 54 – Estimativa de uso do elevador cremalheira.	124
Figura 55 – Comparação entre modelo BIM 4D e executado em obra, etapa alvenaria externa.	125
Figura 56 – Comparação entre modelo BIM 4D e executado em obra, etapa infra split.	125
Figura 57a – Fichas PTTs Reboco.	126
Figura 57b – Fichas PTTs Reboco.	127
Figura 58 – Ficha “PTT – Contrapiso”.	128
Figura 59 – Lógica de desdobramento PTE Reboco em PTT e PTO.	130
Figura 60 – “Tabela de Parede” do <i>Revit</i> e Gráfico de balanceamento do PT Reboco.	132
Figura 61 – As 9 fichas dos PTOs do Reboco.	133
Figura 62 – Lógica de desdobramento PTE Contrapiso em PTT e PTO.	134
Figura 63 – “Tabela de Piso” do <i>Revit</i> e Gráfico de balanceamento do PT Contrapiso.	135
Figura 64 – As 5 fichas dos PTOs do contrapiso.	136
Figura 65 – Integração das fichas de PT ao <i>LPS</i> .	137
Figura 66 – Interação ficha PTO e Ordem de Produção.	139
Figura 67 – Exemplo PPS do empreendimento “B”.	140
Figura 68 – Realizado Semana 01 do empreendimento “B”.	140
Figura 69 – Programação Fichas PTO x Realizado Semana 01 empreendimento “B”.	141
Figura 70 – Tabela de piso e Gráfico de Balanceamento do PTO Contrapiso REV01 do empr. “B”.	143
Figura 71 – As 5 fichas “PTO – Contrapiso” revisadas de acordo com ciclo de melhoria contínua.	144
Figura 72 – Proposta final do método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com uso do BIM 4D.	146
Figura 73 – Comparação entre fichas de PT, Ficha 1 e Ficha 2 respectivamente.	151
Figura 74 – Relação entre os 11 princípios de Koskela (1992) e o método proposto.	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas para o desenvolvimento da LdB e dos PTE. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Técnicas usadas para planejamento e controle do tempo e do custo do projeto	82
Tabela 2 – Disciplinas modeladas e tempo de modelagem	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – *Activity-Based*
AEC – Indústria da Engenharia, Arquitetura e Construção
BIM – *Building Information Modeling*
BCIM – *Building Construction Information Model*
BPM – *Building Product Model*
BRCM – *Building Resource and Cost Model*
BPrM – *Building Process Model*
CPM – Método do Caminho Crítico
DSR – *Design Science Research*
EAP – Estrutura Analítica de Projeto
ELP – Estrutura de Locais do Projeto
ICC – Indústria da Construção Civil
IRR – Índice de Remoção das Restrições
LPS – *Lean Production System*
LB – *Location Based*
LBS – *Location Based Scheduling*
LBS – *Location Breakdown Structure*
LBMS – *Location Based Management System*
LdB – Linha de Balanceamento
LdB – Linha de Balanceamento Avançada
LOB – *Line of Balance*
LPS – *Last Planner System*
STP – Sistema Toyota de Produção
PCC – Percentual do Planejamento Concluído
PLM – *Product Lifecycle Management*
PMI – Project Management Institute
PPS – Plano de Produção Semanal
PS – *Phase Scheduling*
PSO – Projeto do Sistema de Operação
PSP – Projeto do Sistema de Produção
PT – Pacote de Trabalho
PTE – Pacote de Trabalho Estratégico
PTO – Pacote de Trabalho Operacional
PTT – Pacote de Trabalho Tático
WS – *Work Structuring*
VPM – *Vertical Production Method*
TIC – Tecnologia da Informação
TFV – *Transformation-Flow-Value*
TTP – Takt Time Planning

VDC – *Virtual Design and Construction*

WPCBS – *Work Package Location-Based Scheduling*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	27
1.2	QUESTÃO DE PESQUISA	29
1.3	OBJETIVOS	29
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	30
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	PLANEJAMENTO DE OBRAS.....	32
2.1	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	32
2.2	PROJETO DO SISTEMA DE OPERAÇÃO.....	33
2.3	PLANEJAMENTO BASEADO EM ATIVIDADE	37
2.4	PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS.....	40
2.4.1	Planejamento Baseado em Locais: Métodos.....	43
2.5	PLANEJAMENTO BASEADO NO MODELO	48
2.6	PACOTE DE TRABALHO.....	49
2.6.1	Fichas de Pacote de Trabalho	55
2.6.2	Célula de Produção.....	59
2.7	PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS DE PACOTES DE TRABALHO.....	60
2.8	<i>LEAN CONSTRUCTION</i>	61
2.9	<i>LAST PLANNER SYSTEM</i>	64
2.10	BIM 4D.....	69
2.11	PROJETO PARA PRODUÇÃO.....	77
2.12	CONTROLE DE OBRA.....	81
2.13	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	85
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	85
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	88

3.3	ESCOLHA E CAPACITAÇÃO NAS FERRAMENTAS E INSTRUMENTOS PARA PESQUISA	88
3.4	FICHAS DE PACOTES DE TRABALHO, ATRIBUTOS E CRITÉRIOS DE DESDOBRAMENTO	90
3.5	GUIA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	94
4	RESULTADOS	96
4.1	ETAPA EXPLORATÓRIA	96
4.1.1	Elaboração do Modelo BIM 4D para o Estudo Empírico	196
4.1.2	Formulação dos Pacotes de Trabalho e LdB para o Estudo Empírico 1.....	99
4.1.3	Proposta Inicial	116
4.2	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO	118
4.2.1	Estudo Empírico 2	118
4.2.1.1	Passo 1 – Modelo 4D	118
4.2.1.2	Passo 2 – Formulação dos Pacotes de Trabalho Estratégicos	120
4.2.1.3	Passo 3 – Formulação dos Pacotes de Trabalho Táticos.....	126
4.2.2	Estudo Empírico 3	129
4.2.2.1	Passo 4 – Formulação dos Pacotes de Trabalho Operacionais	129
4.2.2.2	Passo 5 – Projeto e Operacionalização	136
4.3	ETAPA DE CONSOLIDAÇÃO	144
4.3.1	Proposta final do método para formulação de PT para obras repetitivas com BIM 4D.....	145
4.3.2	Avaliação das contribuições práticas do método proposto	148
4.3.3	Avaliação das contribuições teóricas do método proposto	150
5	CONCLUSÃO.....	154
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	156
	REFERÊNCIAS.....	157
	APÊNDICE A – Formulário de Entrevista para Avaliação Prática	176

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil (ICC) apresenta características de produção que a situa como uma das mais atrasadas da economia. Nas últimas duas décadas, ações têm sido tomadas para reverter essa situação com base em conceitos oriundos da Indústria da Manufatura. Contudo, estes conceitos precisam ser adaptados, uma vez que o planejamento e controle da produção na construção, em geral, é realizado utilizando-se dias como a medida de programação no nível operacional, diferentemente do que se encontra na manufatura, em que a programação é feita com a estimativa de duração das tarefas em segundos. Segundo Crotty (2012), a baixa qualidade das informações de produção geradas pelos métodos tradicionais 2D de planejamento é a principal causa desta “baixa previsibilidade”. As técnicas tradicionais de planejamento e controle da construção, como os gráficos de barras e o Método do Caminho Crítico (CPM), não fornecem informações relativas aos aspectos espaciais de um projeto de construção (POKU; ARDITI, 2006).

De acordo com Biotto, Formoso e Isatto (2015), diferentemente das indústrias de manufatura, a ICC apresenta peculiaridades que afetam significativamente a gestão do sistema de produção. O fato de os produtos produzidos serem únicos e a organização criada para sua produção ser temporária estão entre as diferenças mais importantes entre a ICC e as indústrias de manufatura (KOSKELA; BALLARD, 2003). Outro fato importante é que na construção, o produto que será transformado é estacionário, portanto, os diversos agentes movimentam-se pelo produto e alteram as condições existentes, sendo o *layout* alterado à medida que vai sendo construído (WEBB; HAUPT, 2005).

Alves *et al.* (2007) também argumentam que o fato de que na construção, os trabalhadores, ao invés de permanecerem fixos em seus postos de trabalho, movem-se dentro do produto para concluí-lo e os postos de trabalho são itinerantes, o que dificulta a logística deste tipo de indústria. O fato de o produto ser fixo, implica num grande esforço de planejamento e controle da produção para evitar congestionamentos em áreas de trabalho e garantir a segurança do trabalho das equipes. Enquanto outras indústrias possuem características similares (*e.g.* naval e aeroespacial), elas não possuem o componente humano da forma como ele se apresenta na construção civil: menos qualificado e temporário (ALVES *et al.*, 2007).

A complexidade da construção decorre de várias fontes. Da natureza do produto único e do processo de produção fragmentado e não documentado, do sistema de produção temporário em que os recursos são

compartilhados entre projetos por subcontratados que trabalham em vários projetos ao mesmo tempo, da organização desenvolvida para este fim e também da organização do cliente, que deve ser entendido como um sistema social complexo (BERTELSEN, 2004). Segundo Koskela (1992), indústria nômade, projetos únicos e com baixa repetitividade, indústria fragmentada, produto fixo e trabalhadores que se movem pelo produto e organização para o trabalho temporária, são algumas de uma série de características intrínsecas da ICC. Para Alves *et al.*, (2007) a construção é itinerante, o que pode dificultar o investimento em instalações de qualidade devido aos seus custos e o fato de que não serão facilmente movidas para o próximo canteiro de obras.

Outra característica da ICC é que os projetos têm baixo nível de repetitividade. A repetição de projetos pode se dar em um mesmo empreendimento (*e. g.* conjunto habitacional), entretanto, devido a mudanças no terreno, no seu entorno e dos seus clientes, os projetos tendem a ter características distintas por necessidade ou por variações de venda (ALVES *et al.* 2007). Não existem grandes empresas construtoras capazes de influenciar a sua cadeia de suprimentos, deste modo, as atividades relacionadas ao projeto são realizadas por inúmeros fornecedores de projeto, materiais e mão-de-obra. Essa característica influencia a forma como mudanças são iniciadas na cadeia produtiva da construção, muitas vezes elas ocorrem de forma isolada em empresas distintas e podem levar anos até se tornarem práticas difundidas no setor. (ABIKO *et al.*, 2005).

A melhoria da produtividade é um dos grandes desafios da ICC (BERTELSEN, 2004). As comparações da Indústria da Construção com a Indústria de Manufatura mostram diferenças de evolução na organização e na tecnologia aplicada no processo de produção (SOU, 2000). O mais notável, é que essas diferenças são conhecidas há muito tempo, porém ainda estão se ampliando (JONGELING, 2006). Para Koskela (1992), a dificuldade na adaptação dos princípios desenvolvidos em diferentes sistemas produtivos para construção civil ocorre porque estes não foram suficientemente abstraídos e aplicados sob a consideração das peculiaridades intrínsecas deste sistema.

Ao enfrentar os desafios da ICC, duas estratégias destacam-se: reduzir a complexidade a um nível em que os princípios da indústria da manufatura possam ser aplicados e desenvolver novos métodos para a gestão e controle do processo construtivo entendendo como sendo um sistema complexo (BERTELSEN, 2004). Jongeling (2006) argumenta que, para alcançar a eficiência da Indústria da Manufatura, a Indústria da Construção aposta em dois conceitos: Produção Enxuta e Protótipos

Virtuais (*Lean Production* e *Virtual Prototyping*). Estes conceitos estão sendo adaptados para ICC e são comumente chamados de Construção Enxuta e Construção Virtual (*Lean Construction* e *Virtual Design and Construction*).

A aplicação do *Building Information Modeling* (BIM) na construção pode facilitar a integração dos conceitos supracitados. Segundo Lu e Li (2011), a adoção do BIM na ICC vem se ampliando nos últimos anos. O BIM não é simplesmente uma representação virtual de um projeto real, nem uma representação estática das informações do projeto. Ele fornece informações dinâmicas para tomada de decisão ao longo do ciclo de vida de um projeto. Enquanto isso, as informações estáticas sincronizam com práticas de construção que vão do design, execução, operação, manutenção, até a renovação. O BIM está mudando as práticas de construção tradicionais em um sentido mais amplo em termos de pessoas, processos, cultura de trabalho, comunicação, modelos de negócios etc. (LU; LI, 2011).

Os especialistas apontam para outro fenômeno nos canteiros de obra: o *fast tracking* e a compressão de cronograma, que criam sobreposições de atividades devido à pressão para conclusão da obra no prazo. Este conflito ocorre frequentemente, porque várias tarefas concorrentes competem pelo espaço de trabalho limitado no canteiro. Lidar com o planejamento e execução de tarefas simultâneas em seus espaços de trabalho é um dos principais desafios que vem sendo abordado em vários estudos de planejamento do espaço do trabalho (ZHANG *et al.*, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Dois fenômenos estão gerando mudanças fundamentais na Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). A primeira delas é uma abordagem conceitual de projeto e gerenciamento de construção, a *Lean Construction*. A segunda é uma abordagem transformadora de informação, o BIM (SACKS *et al.*, 2010).

Algumas características da *Lean Construction* - como a visão do ciclo no tempo e no espaço, simplificação das operações pela externalização, pela formulação dos pacotes do trabalho, redução da variabilidade, visão do fluxo de execução, redução do *lead time* pelo balanceamento das atividades ou pelo efeito aprendizagem, a integração de curto, médio e longo prazo (MOURA; HEINECK, 2014) - podem levar ao aprimoramento dos processos de construção quando incorporados ao planejamento da obra. Uma das ferramentas para efetivar a aplicação

destes conceitos em obra é através da utilização da linha de balanceamento.

O planejamento com a linha de balanceamento (LdB) não é simples, especialmente quando se trata de um projeto de construção que é desdobrado em muitos pacotes de trabalho, vinculados por inúmeras e complicadas relações e outras restrições (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002). A formulação de pacotes de trabalho otimizados é desafiadora e demorada (ISAAC; CURRELI; STOLIAR, 2017). Segundo tais autores, formular pacotes de trabalho otimizados continua sendo uma das tarefas mais difíceis e desafiadoras no gerenciamento de projetos. Arditi, Tokdemir e Suh (2002) explicam que na formulação de pacotes de trabalho para LdB busca-se atribuir o mesmo ritmo de produção aos pacotes de trabalho, para não proporcionar um intervalo de tempo indesejável entre elas. Lutz e Halpin (1992) ressaltam que este fenômeno do desequilíbrio do ritmo de produção tem o potencial de impactar negativamente o desempenho do projeto, causando paradas de trabalho, utilização ineficiente de recursos alocados e custos excessivos.

A divisão do projeto de construção em pacotes de trabalho que tenham o mesmo ritmo de produção não é evidente quando se trabalha com os métodos tradicionais de planejamento. Uma deficiência dessas técnicas e ferramentas é o fato de não proporcionarem visualização espacial da construção ao longo de sua execução (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015). Os métodos tradicionais de planejamento (*i. e. activity-based scheduling*) não fornecem suporte adequado para o planejamento do fluxo de trabalho devido a razões metodológicas e práticas. O planejamento baseado em locais, ou *location-based scheduling*, é uma alternativa promissora para melhorar o planejamento do fluxo de trabalho, porém nenhum dos dois métodos citados acima permitem a visualização espacial do cronograma de execução de obra (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

A fim de sanar esta deficiência, pode-se aplicar o BIM 4D na construção civil, o qual vincula modelos geométricos 3D com dados do cronograma da obra. O vínculo visual entre o cronograma e as condições do canteiro de obras pode facilitar a tomada de decisão durante as etapas de planejamento e construção (CHAU; ANSON; ZHANG, 2004). A principal contribuição do uso integrado do LdB e BIM 4D é a avaliação direta da viabilidade do cronograma de produção em que os usuários são providos de um conjunto de ferramentas para planejar, gerenciar e comunicar os planos do projeto (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007). O planejamento com apoio das análises visuais dos modelos CAD 4D é

considerado melhor e mais útil do que o planejamento tradicional (FISCHER *et al*, 2004; HEESOM; MAHDJOUBI, 2004).

A questão de pesquisa surgiu de um problema prático vivenciado pelo pesquisador em consultoria no planejamento e controle de diferentes empreendimentos. Durante o processo de desenvolvimento do planejamento e elaboração da LdB, identificou-se a dificuldade por parte das partes envolvidas na execução do empreendimento em formular os pacotes de trabalho que compõem a LdB, nos diferentes horizontes de planejamento, que correspondessem a realidade executada no canteiro de obras e que possuíssem o mesmo ciclo de produção. Tal dificuldade, implicava na diminuição da aderência das atividades programadas às executadas em obra e pacotes de trabalho com diferentes ciclos de produção, ocasionando o desbalanceamento da LdB. Justifica-se a escolha do tema no fato de que este trabalho visa utilizar o BIM como um facilitador para formulação dos pacotes de trabalho pertencentes ao planejamento da construção civil, que segundo Isaac, Curreli e Stoliar (2017) é um lacuna de pesquisa, além de aproximar o uso do BIM no canteiro, melhorar a relação entre o BIM 4D e as ferramentas de planejamento e aumentar a confiabilidade e aderência do planejamento operacional com os níveis tático e o estratégico.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Diante do contexto em que está inserido este trabalho e das conclusões advindas da revisão sistemática desenvolvida para a construção do referencial teórico deste trabalho decorre a questão de pesquisa que baliza o estudo: **Como aumentar a aderência das atividades executadas em obra ao seu planejamento para obras repetitivas nos diferentes horizontes de planejamento?**

1.3 OBJETIVOS

Para responder à questão suscitada, o presente trabalho tem por objetivo conceber um **método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D**.

Para alcançar esse objetivo geral do trabalho, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

- (i) Modelar o BIM 4D para o pavimento tipo dos empreendimentos de construção civil escolhidos para os

estudos empíricos da pesquisa, de acordo com a sua sequência executiva;

- (ii) Formular os pacotes de trabalho, com o uso do BIM 4D, que compõem a linha de balanceamento dos pavimentos tipo para os estudos empíricos da pesquisa nos três horizontes de planejamento e elaborar ou revisar a sua linha de balanceamento;
- (iii) Gerar um instrumento para gestão dos pacotes de trabalho de obras repetitivas, visando a melhoria contínua no acompanhamento da obra;
- (iv) Identificar as contribuições práticas e teóricas do método na elaboração dos pacotes de trabalho de obras repetitivas e no planejamento e controle de obras.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

No desenvolvimento da pesquisa, o foco de aplicação do método foi restrito aos pavimentos tipo dos empreendimentos residenciais em estudo, não abrangendo, portanto, as suas áreas comuns (*i. e.* garagens, térreo, embasamento, salão de festas, jardins etc.).

Na fase de desdobramento dos pacotes de trabalho do nível estratégico ao tático e ao operacional, dentre os pacotes de trabalho que compõem a linha de balanceamento, foram selecionados para o desdobramento, segundo a percepção dos envolvidos no projeto, aqueles que poderiam não atingir o ciclo de produção estabelecido devido ao histórico da empresa ou fatores de risco do pacote trabalho e também aquelas que apresentavam maior oportunidades de melhoria.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente Dissertação é estruturada em 5 capítulos.

O primeiro capítulo, ora apresentado, aborda a INTRODUÇÃO deste trabalho, contemplando uma contextualização, a justificativa do tema, a pergunta da pesquisa e objetivos, as delimitações do trabalho e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, PLANEJAMENTO DE OBRAS, traz a revisão bibliográfica utilizada para confecção deste trabalho, desenvolvida por meio da revisão sistemática da literatura selecionada e

a contextualização dos conceitos adotados no desenvolvimento da pesquisa.

O terceiro capítulo, MÉTODO, descreve as estratégias de pesquisa e o delineamento da pesquisa.

O quarto capítulo da pesquisa, RESULTADOS, apresenta a etapa exploratória para o seu desenvolvimento com base em um estudo empírico e a proposta inicial de solução para o problema de pesquisa. A etapa de desenvolvimento contempla a implementação e avaliação da proposta inicial de solução para dois estudos empíricos. Também, demonstra a avaliação das contribuições práticas e teóricas do método desenvolvido e a proposta final de solução para o problema de pesquisa.

O quinto capítulo, CONCLUSÃO, apresenta as conclusões da Dissertação e descreve sugestões e perspectivas para trabalhos futuros sobre o tema.

Este trabalho é finalizado com a apresentação das REFERÊNCIAS.

2 PLANEJAMENTO DE OBRAS

2.1 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

A primeira etapa em qualquer esforço produtivo é o projeto do sistema de produção (PSP), que se estende desde a organização global até o projeto das operações, desde decisões sobre quem irá se envolver e qual seu papel na organização até como o produto físico deve ser transformado (BALLARD *et al.*, 2001). Segundo tais autores, o PSP representa a forma mais básica para minimizar o efeito da variabilidade na produção, ao mesmo tempo em que contribui para alcançar os principais objetivos do projeto. Todo planejamento da produção, deve ser baseado na manutenção do ritmo do fluxo de trabalho, ao invés de buscar picos de produtividade que melhoram uma determinada atividade, mas nem sempre tem impacto positivo no projeto como um todo (CONTE; GRANSBERG, 2001).

O sistema de produção pode ser definido como um conjunto de pessoas e recursos (*e. g.* máquinas, equipamentos, informações) organizados para desenvolver e produzir um produto (bens ou serviços) que agregue valor para os clientes (BALLARD *et al.*, 2007). Produção pode ser definida como “projetar e produzir coisas”. Projetar e produzir deve ser feito através de projeto, que é, por essa razão, a forma fundamental do sistema de produção. Os projetos são sistemas temporários de produção (BALLARD; HOWELL, 2003). A ICC é um entre vários tipos de sistemas de produção baseados em projetos. Além da construção civil pode-se citar construção naval, criação de filmes, engenharia de *software* e desenvolvimento de produtos (BALLARD; HOWELL, 2003).

O PSP na indústria da manufatura é o estudo das alternativas de organização da produção com o objetivo de escolher a estratégia mais apropriada para atingir os resultados almejados (MEREDITH; SHAFER, 2009). Para Koskela (2000), na construção, o PSP tem três objetivos principais: (i) entregar o projeto; (ii) maximizar o valor; e, (iii) minimizar o desperdício.

De acordo com os princípios de manufatura enxuta, a variabilidade pode ser gerenciada em três diferentes níveis: (i) PSP; (ii) controle da produção; e, (iii) melhoria contínua (LIKER, 2004). Do mesmo modo, na construção enxuta, pode-se aprimorar projetos com: (i) a consideração dos fatores que podem prejudicar o fluxo de trabalho contínuo e o projeto do sistema de produção para evitá-los ou contabilizá-los no planejamento,

(ii) a manutenção do fluxo de produção de forma proativa, resolvendo as pendências das tarefas que serão executadas com antecedência e atribuindo às equipes somente tarefas que estão liberadas para execução, ao invés de utilizar requisitos de planejamento predeterminados; e, (iii) melhoria contínua para reduzir a variação na produtividade de cada trabalhador e melhorar os sistema de produção como um todo (BRODETSKAIA; SACKS; SHAPIRA, 2013).

Biotto *et al.* (2017) sugere que o PSP não se refere apenas ao *Work Structuring (WS)*, que é necessário para estudar o fluxo de trabalho, mas também é utilizado para subsidiar um conjunto de decisões que envolvem toda a estratégia do projeto. De acordo com tais autores, o PSP deve ocorrer, necessariamente, antes da fase de construção, para que a equipe pertencente ao projeto esteja ciente de alternativas de organizações de produção e suas consequências para orçamento, cronograma, fluxo de trabalho e processos.

Uma das saídas do PSP é o plano mestre que será usado quando o sistema iniciar sua operação (SCHRAMM *et al.*, 2004). Em seguida, a equipe do projeto será capaz de adaptar o sistema de produção em caso de variabilidade e incertezas, (*i. e.* minimizando seus efeitos na produção e entregando valor ao cliente) (BIOTTO *et al.*, 2017). Para Schramm (2004), o projeto do sistema de produção deve ser encarado como uma atividade de gestão da produção que apresenta interfaces tanto com o processo de desenvolvimento do produto, quanto com o processo de planejamento da produção.

Deste modo, com o desenvolvimento do PSP anterior ao início da construção, devido as características típicas da construção civil, as decisões quanto às tecnologias e elementos de execução (*e. g.* tamanho dos blocos de alvenaria, tipo de impermeabilização, sistema de forma e escoramento para estrutura de concreto, detalhes de revestimentos) e quanto aos processos executivos (que podem depender da mão de obra contratada), em geral, ainda não são conhecidos. Dentro desse contexto, durante os primeiros estágios de início da obra e durante o seu decorrer, pode-se desenvolver o Projeto do Sistema de Operação (PSO).

2.2 PROJETO DO SISTEMA DE OPERAÇÃO

De acordo com Ballard e Koskela (2003), o gerenciamento do sistema de produção é dividido em três etapas: projeto, operação e melhoria. Como visto anteriormente, o PSP é desenvolvido antes do início da construção. Contudo, durante a operação do sistema de produção, algumas atividades do projeto do sistema de produção também acontecem

(e. g. *Phase Scheduling*) e isso ocorre porque a informação torna-se disponível e precisa para tomada de decisão apenas após o início da construção (BIOTTO *et al.*, 2017). À medida que mais informações ou características do projeto são coletadas e entendidas, pode ser necessário um planejamento adicional (PMI, 2017). Segundo o PMI (2017), este detalhamento progressivo do plano de gerenciamento de projetos é denominado “planejamento por ondas sucessivas”, indicando que o planejamento e a documentação são atividades iterativas e contínuas.

“O planejamento em ondas sucessivas é uma técnica de planejamento iterativo em que o trabalho a ser executado a curto prazo é planejado em detalhe, ao passo que o trabalho no futuro é planejado em um nível mais alto. Durante o planejamento estratégico inicial, quando a informação está menos definida, os pacotes de trabalho podem ser decompostos até o nível conhecido de detalhe. Conforme os eventos que estão para acontecer são mais conhecidos, os pacotes podem ser decompostos em atividades” (PMI, 2017).

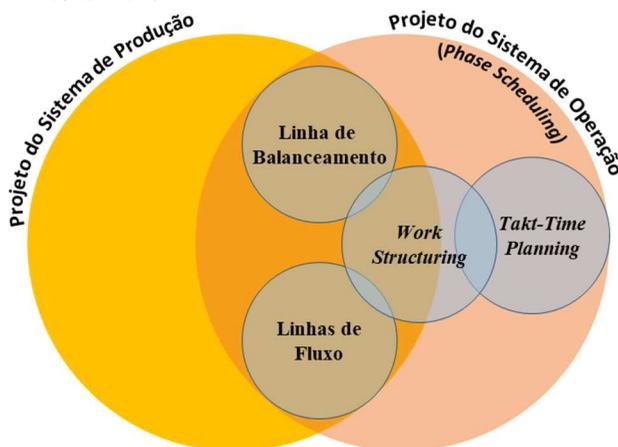
Biotto *et al.* (2017), em seu artigo, apresentam uma comparação entre as atividades do sistema de produção e as ferramentas utilizadas no *location-based planning*. Na Figura 1, os autores posicionam as ferramentas *lean* em relação às atividades de planejamento da *lean construction* dentro do seu potencial de uso na as atividades gerencias do sistema de produção dividindo entre Projeto do Sistema de Produção e Projeto do Sistema de Operação (PSO).

Como discutido no item anterior, o PSP está relacionado a fase de projeto do empreendimento, ao nível estratégico com o horizonte de planejamento de longo prazo (*i. e.* anual). Sua saída é o Plano Mestre que define as estratégias de execução da obra, onde está contido um menor número pacotes de trabalho, mas com ciclos maiores de execução. Os locais de execução também são mais abrangentes (*e. g.* pavimento tipo).

O PSO pode ser desenvolvido um pouco antes do início da obra para os primeiros pacotes de trabalho e é interativo e contínuo. Consiste em decompor os pacotes de trabalho do nível estratégico (PTE) para o nível tático (PTT) e nível operacional (PTO). Este desenvolvimento, idealmente, deve ser realizado em conjunto com os responsáveis pela execução das atividades (*i. e.* equipe de engenharia, mestres de obra e encarregados empreiteiros). São pacotes de trabalho de médio e curto

prazo, possibilitando nível de controle semanal e a implementação de indicadores como o Percentual do Plano Concluído (PPC) e Planos de Produção Semanal (PPS). Devido ao desdobramento destes pacotes de trabalho, o PSO é composto por mais pacotes se comparado ao PSP e os locais de execução podem ser mais restritos (*e. g.* apartamentos, metade de um pavimento tipo).

Figura 1 – Posição das ferramentas em relação às atividades de planejamento da *lean construction*.



Fonte: Biotto *et al.* (2017).

Dentro do PSO, pode-se enquadrar o *Phase Scheduling* (PS), ou planejamento faseado, que consiste em um horizonte de médio prazo da obra e, segundo Ballard (2008), é uma atividade de projeto colaborativa para estruturar o processo de uma fase de projeto e produzir um plano para completá-lo. O PS visa controlar todas as atividades que antecedem o início da execução de um pacote de trabalho, para garantir o seu início dentro do planejado. Um dos índices gerados no PS é o Índice de Remoção das Restrições (IRR) que integra todos os envolvidos no pacote de trabalho (*e. g.* compras, projeto, logística) e cria um plano com as atividades que devem ser executadas por cada um para poder iniciar a execução do pacote de trabalho.

Outro conceito influente na discussão do PSO é o WS. O termo foi introduzido na construção por Ballard (1999) para designar o PSP e pode ser definido como o Projeto do Processo. Contudo, existem algumas diferenças entre os dois (BIOTTO *et al.*, 2017). O WS é utilizado antes do início da construção, porém pode ser usado durante a construção

(BALLARD, 1999). O WS é o desenvolvimento da operação e do projeto de processo em alinhamento com o projeto do produto, a estrutura da cadeia de suprimentos, a alocação de recursos e os esforços de projeto para produção (BALLARD, 1999). O WS faz a decomposição do produto e processo em partes, sequências e atribuições para realizar o fluxo de trabalho com menor variabilidade, reduzir o desperdício e aumentar o valor para o cliente por meio de três conceitos (BALLARD, 1999; BIOTTO *et al.*, 2017):

- (i) Unidade de Produção: um grupo de trabalhadores da produção que executam ou compartilham a responsabilidade por trabalhos similares, com as mesmas habilidades e técnicas (LCI, 2004). Por exemplo: equipe de alvenaria;
- (ii) Módulo de Trabalho (*Work Chunk*): Uma unidade de trabalho que pode ser entregue de uma unidade de produção para a próxima (TSAO *et al.*, 2000). Por exemplo: alvenaria externa pavimento tipo; e,
- (iii) Entrega (*Handoff*): a combinação de (1) conclusão de um módulo de trabalho por uma unidade de produção permitindo a unidade de produção sucessora transformar o módulo de trabalho ou trabalhar em outro módulo conforme programação, (2) declaração de conclusão do módulo de trabalho pela unidade de produção e liberação para a unidade de produção sucessora, e (3) aceitação do módulo de trabalho pela unidade de produção sucessora (TSAO, 2005; BIOTTO *et al.*, 2017). Por exemplo: A equipe de alvenaria entrega a conclusão da alvenaria externa do 5º pavimento para equipe de hidráulica iniciar a execução das tubulações de prumada.

Schramm (2004) cita que Ballard (1999) e Tsoo *et al.* (2000) aplicaram o WS para responder as questões relacionadas à: (a) segmentação do trabalho e sua alocação às unidades de produção; (b) sequenciamento do trabalho; (c) liberação do módulo de trabalho de uma unidade de produção para a próxima; (d) locação e dimensionamento de estoques; e, (e) localização do trabalho no empreendimento.

Na construção, a maioria dos projetos ainda são planejados e programados baseados na experiência, mesmo que as técnicas de modelagem 4D estejam sendo adotadas cada vez mais em todo o mundo (FIRAT *et al.*, 2007). Segundo tais autores, o planejamento dificilmente está otimizado pois este depende da experiência acumulada aleatoriamente pelos planejadores. Por essa aleatoriedade, diversos são os

métodos, ferramentas, técnicas e sistemas de planejamento desenvolvidos para otimizar o planejamento da construção. Estes serão discutidos nos capítulos seguintes.

2.3 PLANEJAMENTO BASEADO EM ATIVIDADE

A técnica tradicional usada desde o início do século XX (MATTOS, 2010) para o planejamento da construção é o *Activity-Based Critical Path Method* (CPM), ou Método do Caminho Crítico. Planejadores decompõem um projeto em atividades que associam a um ou mais elementos da construção (e. g. concretagem da laje do pavimento 03) que compõem o projeto. Cada atividade está incluída em um gráfico de barras e em uma rede que descreve o cronograma proposto para o projeto (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

Diversos trabalhos publicados no *International Group of Lean Construction (IGLC)* destacam a necessidade de adequação do CPM para a construção, por exemplo, em edifícios de múltiplos pavimentos (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Segundo tais autores, o planejamento baseado em atividades é atualmente a técnica predominante nas construções. O CPM tem sido reconhecido como a inovação mais importante na gestão da construção no século XX. Embora tenha sido amplamente criticado como inadequado para o controle das atividades em projetos, ainda é amplamente utilizado e ensinado (KOSKELA *et al.*, 2014).

Modelos tradicionais de planejamento e controle de obras estão fortemente embasados na utilização do CPM e nos grupos de processos e áreas de conhecimento do PMI (*Project Management Institute*) (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Koskela *et al.* (2002) argumentam que esses modelos possuem deficiências e limitações no atendimento das necessidades das equipes de produção, tais como, maior detalhamento do plano mestre e melhor qualidade das informações recebidas.

Em termos de incorporação na prática, verifica-se que o CPM se transformou de uma forma de gerenciamento de produção, em um método de controle das atividades relacionadas ao contrato. Em consequência, o emprego do CPM pelos contratantes tem sido crucial para que este método seja a principal abordagem do gerenciamento da produção (KOSKELA *et al.*, 2014). Contudo, o CPM vem sendo criticado no seu uso para projetos repetitivos e lineares (HARRIS; IOANNOU, 1998; HEGAZY; KAMARAH, 2008).

Beterlsen *et al.* (2006) observam que dentre os métodos de gerenciamento da produção não existe um único que consegue satisfazer as condições necessárias para gerenciar um projeto. Segundo tais autores, o que os gerentes de projeto da construção estão buscando fazer é alocar cada método para a situação na qual ele melhor se encaixa (Figura 2). O CPM é muito útil nos estágios iniciais do projeto, nos quais é necessário decidir a sequência lógica das atividades, previsão de custos do projeto, marcos e duração total do projeto. O CPM tem sido usado na construção mais como uma ferramenta de decisão estratégica de gerenciamento de contratos. Sua aplicabilidade no médio prazo é questionável, porque não apresenta de que forma executar e controlar atividades e é difícil de atualizar (BETTERSEL *et al.*, 2006).

Figura 2 – Visão geral dos horizontes de projeto e métodos e técnicas de gerenciamento da produção.

Nível de Decisão	Estratégico	Tático	Operacional
Horizonte de Planejamento	Longo Prazo (Anual)	Médio Prazo (Mensal)	Curto Prazo (Semanal)
Plano de Produção	Plano Mestre	<i>Phase Scheduling (PS)</i>	Plano de Produção Semanal (PPS)
Método	CPM	LOB	Caminho Crítico <i>Last Planner System</i>
Tipo de Produção	EMPURRADA		PUXADA

Fonte: traduzido de Bertelsen *et al.* (2006).

Os conceitos de sistemas de produção empurrada e sistemas de produção puxada são apresentados na Figura 2. A produção empurrada na indústria da manufatura, visa atender as previsões da demanda (SIMCHILEVI *et al.*, 2003), com o lançamento do material necessário para primeira operação de acordo com a previsão da demanda (HUANG *et al.*, 1998). Em seguida o produto em processo vai para próxima etapa, sem que haja uma requisição por parte desta, ou seja, os produtos em processo são empurrados ao longo do processo produtivo (BARCO; VILLELA, 2008).

A produção puxada é aquela que limita explicitamente a quantidade produto em processo que pode estar no sistema. Por padrão, isso implica que produção empurrada é aquela que não tem limite explícito sobre a quantidade de produto em processo que pode estar no sistema (SPEARMAN, 2002). A produção puxada não faz a programação de início das atividades, ao invés disso, ela autoriza o início da atividade (SPEARMAN; WOODRUFF; HOPP, 1990). Segundo tais autores, o

sistema de produção puxada mais conhecido é o *kanban*. O *Just-in-time*, de acordo com Ohno (1988), envolve dois componentes: *kanban* e o nivelamento da produção. A inspiração para o desenvolvimento do *kanban* por Ohno, veio de sua visita aos supermercados americanos da década de 1950. Para ele a ideia de ter todos os produtos disponíveis a todo momento era revolucionária: “Do supermercado nós tiramos a ideia de visualizar os processos predecessores da linha de produção como um tipo de loja. O processo subsequente (cliente) vai ao processo predecessor (supermercado) e adquire as peças que precisa, no momento que precisa e na quantidade que precisa. Imediatamente, o processo predecessor inicia a produção da quantidade que foi retirada (reabastecer a prateleira) (OHNO, 1988).

De acordo com Bertelsen *et al.* (2006), o CPM representa a produção empurrada, na qual cada atividade é empurrada por seus predecessores para a posição inicial de sua relação de precedência. Essa abordagem não garante a utilização contínua de recursos, pois outras atividades terão de ser puxadas para possibilitar o início da atividade que foi empurrada, impactando no uso dos recursos do sistema de produção (YANG; IOANNOU, 2001). Na construção de um edifício, as atividades no longo prazo são programadas de acordo com a estratégia de entrega da obra pela construtora, preocupando-se somente com as datas de início das atividades e o seu tempo total de conclusão.

Brodetskaia, Sacks e Shapira (2013) argumentam que a implementação efetiva do controle da produção puxada requer um modelo que descreva a interface das entregas entre os pacotes de trabalho com base no desempenho do pacote de trabalho. O método do caminho crítico (CPM) e as aplicações de *software* baseadas em CPM são inadequadas para modelar o fluxo de trabalhos de acabamento no nível operacional. O método não considera variação nos ritmos de produção das atividades, o fluxo de recursos compartilhado entre atividades durante a execução ou fluxos irregulares de recursos através dos espaços de trabalho. A inadequação da CPM é um desafio para o gerenciamento eficaz da produção na construção e dificulta seu uso para pesquisas de gerenciamento de operações neste contexto (BRODETSKAIA; SACKS; SHAPIRA, 2013).

O planejamento realizado com o CPM é apresentado normalmente com o gráfico *Gantt*, ou diagrama de barras, com foco nas durações ou como um diagrama de rede, com foco nas dependências entre as atividades (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015). Para tais autores, o CPM foca nos seguintes pontos: (i) estrutura analítica de projeto; (ii) dependências entre as atividades; (iii) durações de cada

atividade; (iv) nível otimizado de recursos; e, (v) duração ótima do projeto.

O gerenciamento da construção é tradicionalmente realizado pelo gerenciamento das transformações (KOSKELA; HOWELL, 2002). Para Jongeling e Olofsson (2007), o gerenciamento do fluxo de trabalho com a melhoria dos métodos de planejamento podem contribuir significativamente para a redução do desperdício nos processos da construção. Como citado anteriormente, o CPM é criticado pela falta do gerenciamento do fluxo de trabalho e pela dificuldade de planejar o uso contínuo dos recursos. O planejamento baseado em locais busca preencher estas lacunas e está sendo implementado em diversos projetos de construção.

2.4 PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS

As metodologias que deram origem ao *Location-Based* (LB) (e. g. Linha de Balanceamento e Linhas de Fluxo) são mais antigas que a metodologia *Activity-Based* (AB). Contudo, o termo *Location-Based Schedule* (LBS), ou Planejamento Baseado em Locais, foi proposto por Kenley (2004), pelo fato da construção ter recursos fluindo através de locais fixos, que serão transformados em produtos, diferente da manufatura, na qual os produtos fluem através dos recursos que são fixos (BIOTTO *et al.*, 2017). Kenley e Seppanen (2010) acreditam que o professor polonês Karol Adamiecki desenvolveu, no início do século XX, as bases do planejamento baseado em locais. Originalmente baseada em técnicas gráficas e utilizada em 1929 em projetos inovadores como o *Empire State Building*, foi desenvolvida pela *Goodyear* na década de 1940, expandida na década de 1950 pela US Navy e objeto de várias pesquisas nas décadas de 1960 e 1970 (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016).

Um dos objetivos do planejamento baseado em locais é que as equipes se mobilizem apenas uma vez e continuam o trabalho até a conclusão (KENLEY, 2004). Em outras palavras, em projetos repetitivos, os produtos que estão sendo construídos tendem a ser estacionários, enquanto os recursos se movem de um local para outro e concluem o trabalho que é pré-requisito para os recursos sucessores iniciarem o trabalho no mesmo local (TOMMELEIN *et al.*, 1999).

Para Yang e Ioannou (2001), segundo as entrevistas com os gerentes de projeto e o estudo realizado por Serpell *et al.* (1997), é comum observar em projetos repetitivos que as equipes e os equipamentos estão ociosos e aguardando porque as equipes anteriores não terminaram seu

trabalho. Essa ociosidade deve-se a taxas de produção desequilibradas, incerteza quanto às taxas de produção durante o planejamento e variabilidade durante a execução.

O *Location-Based Management System* (LBMS) é o produto de um processo de pesquisa iniciado com a linha de balanceamento e o método de fluxo de trabalho (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Como o próprio nome sugere, o LBMS foca no local onde as atividades ou pacotes de trabalho serão executados (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015). O LBMS é uma técnica de planejamento e controle da produção em construções, adicionando aspectos importantes no processo de construção que podem ser omissos em outras técnicas, como o fluxo de trabalho contínuo e as restrições de locais/espacos de trabalho (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Kenley e Seppänen (2010) definem o LBMS como um método de planejamento e controle da construção baseado no fluxo de recursos através do canteiro, visando maximizar o uso contínuo da mão de obra e a produtividade, diminuir as paradas de produção, reduzir desperdícios e riscos, aumentar a transparência, melhorar a previsibilidade e o fluxo. O algoritmo do LBMS simplifica o planejamento do CPM por focar em atividades repetitivas, padrões lógicos e heurísticas para possibilitar a fluxo contínuo do trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Como ponto de partida, o LBMS necessita do *Location Breakdown Structure* (LBS), ou Estrutura de Locais do Projeto (ELP), das atividades, dos quantitativos para cada local e atividade, da produtividade da mão de obra, das horas de trabalho e o calendário para cada atividade, das equipes de produção otimizadas para cada atividade e da rede de precedência entre as atividades (FRANDSON; SEPPÄNEN; TOMMELEIN, 2015). A definição da ELP, que é a espinha dorsal do planejamento baseado em locais (FIRAT *et al.*, 2007), e as quantidades para cada local são similares a definição da Estrutura Analítica de Projeto (EAP), ou *Work Breakdown Structure* (WBS), para um projeto (JONGELING, 2006).

O sistema de planejamento do LBMS é baseado em um algoritmo de CPM aprimorado, que facilita o processo de programação, concentrando-se em tarefas repetitivas por localização, isso automatiza a lógica de programação empregando localizações e heurísticas de continuidade para planejar o trabalho contínuo (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). O fluxo contínuo é alcançado alinhando-se as taxas de produção e as heurísticas de continuidade dos algoritmos do LBMS (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010) que atrasam a data de início de uma tarefa para obter um fluxo contínuo de recursos (OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018).

A otimização do LBMS concentra-se em atingir os objetivos de duração, sincronizando as taxas de produção, alterando o número de equipes e maximizando o fluxo de trabalho, assim os recursos e as durações são estimados baseados nas quantidades e nas taxas de produção (OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018). Para Bølviken, Aslesen e Koskela (2015), o LBMS está focado nos seguintes problemas: (i) nos diferentes locais onde o trabalho deve ser feito; (ii) um pacote de trabalho por vez por local; (iii) os pacotes de trabalho possuem trabalho contínuo.

A variabilidade na produção e a falta de sincronização entre os processos são dois importantes fatores que podem provocar as interrupções no fluxo de trabalho, aumentando a parcela de atividades que não agregam valor e a quantidade de estoques de produtos inacabados. (BULHOES; PICCHI, 2011). Firat *et al.* (2007) classificam os métodos de planejamento baseado em locais como “métodos de planejamento orientados ao fluxo de processo”. Para tais autores, o planejamento baseado em locais ainda não está sendo amplamente aplicada na construção civil, porém está apoiando a ligação entre o planejamento e o pensamento enxuto, uma vez que permite fluxos de trabalho contínuos e recursos balanceados. O conceito de “FLUXO” do pensamento enxuto e ferramentas como a Linha de Balanceamento tem o mesmo objetivo, *i. e.* planejar para o uso contínuo de recursos e, assim, minimizar o tempo ocioso e evitar o desperdício (FIRAT *et al.*, 2007).

No planejamento baseado em locais, o único elemento que pode ser considerado essencial na definição do local é a sua repetitividade durante o projeto. Yang e Ioannou (2001) dividem os projetos repetitivos em duas categorias:

- (i) Projetos Repetitivos Verticais: unidades de repetição descontínuas, as unidades podem ser andares para edifícios múltiplos pavimentos, casas para projetos de desenvolvimento habitacional ou apartamentos para projetos de reforma; e,
- (ii) Projetos Repetitivos Horizontais: unidades de repetição contínuas ou lineares, o progresso é expresso em termos de metros, estações ou quilômetros para rodovias, oleodutos, túneis e outros projetos similares. Igualmente, são conhecidos como “projetos lineares”

Pelo fato de alguns projetos verticais repetitivos não serem realmente construídos “verticalmente”, os projetos da primeira categoria podem ser chamados de “Projetos Verticais Descontínuos” para evitar confusão, enquanto os projetos da segunda categoria podem ser chamados de “Projetos Repetitivos Contínuos” (YANG; IOANNOU, 2001). Nesta

pesquisa, serão estudados os pavimentos tipo de edifícios múltiplos pavimentos, ou seja, as unidades de repetição descontínuas de “Projetivos Repetitivos Verticais”.

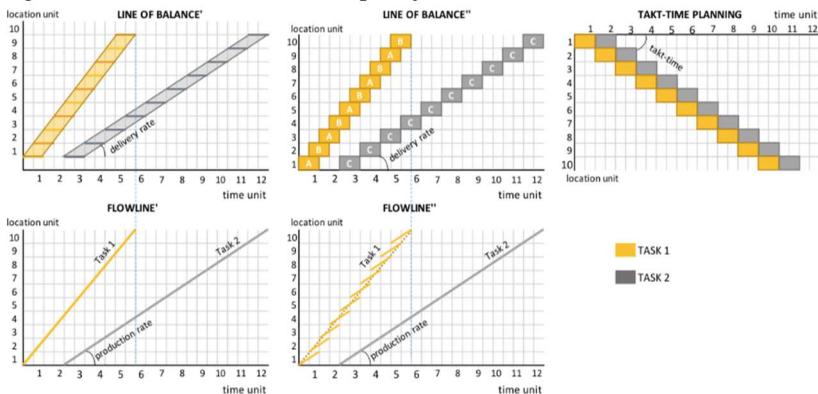
2.4.1 Planejamento Baseado em Locais: Métodos

Diferentes métodos desenvolvidos utilizam o conceito de planejamento baseado em locais. Jongeling e Olofsson (2007) destacam variações que podem ser encontradas na literatura com diferentes designações, como “Line of Balance” ou “Linha de Balanceamento (LdB)”, “Linhas de Fluxo” ou “*Flowline*”, “*Construction Planning Technique*”, “*Vertical Production Method (VPM)*”, “*Time-Location Matrix Model*”, “*Time-Space Scheduling*”, “*Takt Time Planning (TTP)*”, “*Disturbance Scheduling*”, “*Repetitive Scheduling Method*” e “*Horizontal and Vertical Logic Scheduling Logic for Multi-Story Projects*” (KENLEY, 2004; MOHR, 1991; HARRIS; IOANNOU, 1998). Princípios de programação lineares, repetitivas e baseadas em localização formam um grupo de métodos alternativos orientados para o fluxo de trabalho (OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018), exibem processos de construção no seu espaço-tempo, abrangendo múltiplas variáveis (e. g. ciclo de produção, local de execução, repetitividade das tarefas) que seriam complicadas de visualizar com o CPM (LUCKO *et al.*, 2014).

Dentre os métodos supracitados, podem-se destacar três: LdB, *Flowline* e *Takt-Time Planning* (Figura 3). Estes métodos foram originalmente desenvolvidos na indústria da manufatura e foram adaptados para construção (BIOTTO *et al.*, 2017), por meio da mudança das unidades do eixo vertical do gráfico: de “unidades de produção” por “local” (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Se comparados os três métodos, todos apresentam semelhanças: eles visam o fluxo de trabalho contínuo e a definição de uma taxa de produção única para atividades (BIOTTO *et al.*, 2017).

Alguns autores nomeiam a LdB de *Flowline* e vice-versa (KENLEY, 2004), umas das diferenças entre os dois métodos é o fato de a LdB demonstrar no gráfico as datas de início e término de cada atividade, em que cada atividade é representada por um gradiente de caixas e o *Flowline* demonstra a data de início de cada atividade como ponto de partida no gráfico e a data de término como ponto final da linha. Aparte este detalhe de representação, os dois métodos possuem a mesma lógica de funcionamento. Na Figura 4, é demonstrada a comparação entre os dois métodos.

Figura 3 – Gráficos de métodos do planejamento baseado em locais.



Fonte: Biotto *et al.* (2017).

Biotto *et al.* (2017), discutem em seu trabalho, a diferença entre o gradiente das caixas da LdB e as linhas de fluxo, apontando para Su e Lucko (2015), que indicam a representação da taxa de entrega pela LdB, pois esta começa a contar após a entrega da primeira unidade e as linhas de fluxo representam a taxa de produção que começam a contar desde o início da atividade. O TTP inverte o eixo dos locais, apresentando o progresso de cima para baixo e, segundo Biotto *et al.* (2017), o gradiente das caixas representam a *takt-time*, ou a taxa de demanda do cliente, ou taxa de demanda da fase quando se está aplicando o *Phase Scheduling*.

Figura 4 – Comparação entre LdB e *Flowline*.

LINHA DE BALANCEAMENTO	FLOWLINE
enfoca na conclusão de unidades repetitivas	enfoca na conclusão de locais variáveis
requer unidades de produção iguais	locais diferentes podem variar em quantidades ou tarefas a serem executadas
enfoca nas unidades de produção por período de tempo	enfoca no fluxo de trabalho dentro dos locais e sua taxa de conclusão

Fonte: Demirdoven (2015).

A LdB é um método gráfico e visual de planejamento para planejar e gerenciar o fluxo contínuo do trabalho nos espaços de trabalho

(SEPPÄNEN; AALTO, 2005), sendo que fornece ótima visualização do fluxo de trabalho no canteiro de obras (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008). É utilizada como ferramenta de programação de obras repetitivas, principalmente de edifícios (MENDES JUNIOR; HEINECK, 1999; TOMMELEIN; BALLARD, 1997; MOURA; HEINECK, 2014). Este método foi reintroduzido como uma alternativa para métodos como CPM, visando gerenciar o fluxo de trabalho, mesmo que a LdB tenha sido concebida para gerenciar o fluxo nos espaços de trabalho (BERTELSEN, 2004). Evidências da utilização da LdB como técnica de programação existem na realidade brasileira há mais de 30 anos, mas só recentemente vem sendo associada às aplicações de construção enxuta, especialmente para o planejamento estratégico de obras (MOURA; HEINECK, 2014).

Para Conte e Gransberg (2001), a LdB deve ser utilizada para otimizar o ritmo das tarefas a serem executadas. Tais autores sugerem que a LdB possibilita a identificação imediata dos gargalos da produção e eventuais pontos de inserção dos *buffers*, visando espaçar o início entre os pacotes de trabalho que possuem ritmos de produção diferentes. A situação ideal é quando todos os pacotes de trabalho possuem o mesmo ritmo de produção, eliminando estoques intermediários que não agregam valor ao produto final (CONTE; GRANSBERG, 2001).

A LdB é um método usado para planejamento de longo prazo, mas é possível integrar os horizontes de médio e curto prazo das atividades a serem realizadas (MOURA; HEINECK, 2014). Porém, esta integração não está sendo aplicada com sucesso na construção civil devido ao fato de que a LdB é gerada apenas para o PSP e, em geral, não se faz a transformação para o PSO. Isto acarreta a falta de representatividade da LdB em relação aquilo que está sendo executado no canteiro devido à dificuldade em controlar pacotes de trabalho com longo prazo de execução, dificultando a sua atualização.

Segundo Mendes Junior (1999), na LdB, o ritmo de produção deve, supostamente, permanecer constante ao longo do tempo. Porém, devido à natureza aleatória dos processos de construção e ao efeito da curva de aprendizagem, esta hipótese pode estar equivocada e resultar em grandes falhas (MENDES JUNIOR, 1999). Uma das críticas à LdB, é a sua limitação para gerenciar projetos complexos e não repetitivos (HENRICH.; TILLEY; KOSKELA, 2005).

LdB, *Flowline* e *Takt-Time Planning* utilizam o conceito de *buffers*, ou pulmões, no seu desenvolvimento. *Buffer* é um meio de reduzir o impacto da variabilidade nos fluxos (HOPP; SPEARMAN, 2000). Bølviken, Aslesen e Koskela (2015), classificam os *buffers* como desperdícios, tipos específicos de *buffers* são introduzidos

deliberadamente ao sistema de produção para estabelecer um nível satisfatório de fluxo e, deste modo, reduzir os desperdícios do sistema de maneira global, buscando reduzir o desperdício ao mínimo necessário para manter o fluxo. A quantidade de *buffers* necessários no sistema produtivo é uma função da variabilidade do sistema: quanto maior a variabilidade, maior a quantidade de *buffers* (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015). O livro “A Meta” de Goldratt e Cox (1986), apresenta os Cinco Passos de Focalização e os métodos de programação da produção *Drum-Buffer-Rope* (DBR) e de controle da produção *Buffer Management* (BM). Segundo Goldratt (1990), existem três tipos de pulmões de tempo: (i) Pulmão de Recurso; (ii) Pulmão de Mercado; e, (iii) Pulmão de Montagem.

Nos sistemas de produção, podem-se encontrar diferentes tipos de *buffers*: (i) de tempo (no espaçamento entre o início de atividades); (ii) de espaço (iniciar a atividade 2 no 1º pavimento quando a atividade 1 estiver no 5º pavimento); (iii) de produtos (elevar 10 paredes de alvenaria para iniciar o posicionamento dos eletrodutos nas paredes); (iv) de estoque; (v) de capacidade produtiva; e, outros. Segundo Biotto *et al.* (2017), a LdB aplica os *buffers* de tempo entre as atividades críticas e dentro dos pacotes de trabalho, a *Flowline* aplica os *buffers* somente entre as atividades e o TTP aplica os *buffers* de tempo dentro dos pacotes de trabalho, estabelecendo o tempo de ciclo das equipes menor do que o *takt-time*.

De acordo com Mendes Junior (1999), cada passo na aplicação da LdB está ligado à tomada de decisões táticas ou operacionais que originam dos principais fatores intervenientes na programação da construção. Para tal autor, estas variáveis são (Figura 5): (i) unidade de repetição; (ii) atividades programadas; (iii) rede de precedências das atividades; (iv) tamanho das equipes; (v) duração das atividades no pavimento tipo; (vi) número de equipes na atividade; (vii) sentido de execução; e, (viii) prazo da obra. Para a aplicação da LdB, é necessário conhecer, para cada atividade: (i) quantidades de serviço a executar; e, (ii) produtividade das equipes.

Firat *et al.* (2007) introduzem uma versão mais desenvolvida da LdB, chamada *Advanced Line-of-Balance*, ou Linha de Balanceamento Avançada (LdBA). A diferença é que para a LdBA, as seções não precisam ser iguais em tamanho ou ter as mesmas atividades associadas (FIRAT *et al.*, 2009). Para iniciar o planejamento pela LdBA, o projeto é dividido em seções. Deste modo, o planejamento baseado em locais é baseado em seções. A seção é uma parte física do projeto (e. g. um edifício isolado ou pavimentos do edifício), no qual as atividades são concluídas em sua totalidade. Essas seções, em seguida, são divididas em espaços de

trabalho menores. No espaço de trabalho, apenas uma atividade crítica pode ocorrer de cada vez, isso define o ritmo de produção. Todas as atividades estão programadas para continuar de um local para outro sem interrupções. O seccionamento é realizado de acordo com métodos de construção, projeto, localização ou número de andares e cada seção é projetada e construída como um edifício independente, um projeto isolado (FIRAT; ARDITI; KIIRAS, 2009). A utilização das seções na LdB possibilita o controle de vários projetos (FIRAT *et al.*, 2008).

Figura 5 – Aplicação da LdB



Fonte: Adaptado de Mendes Junior (1999).

De acordo com Biotto *et al.* (2017), a *Flowline* é um método derivado da LdB, no qual a atividade é representada por uma linha, e por esse fato, Kenley e Seppänen (2010) consideram esta representação mais clara do que da LdB¹. Ainda segundo Biotto *et al.* (2017), o termo *Flowline* foi proposto por Mohr (1979), porém, o método foi desenvolvido anteriormente por Peer e Selinger (1973). Graficamente, o LBMS utiliza o *Flowline* para apresentar o planejamento da construção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010; SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014).

O uso do *Takt Time Planning* na indústria da construção baseia-se no uso do *takt-time* na indústria da manufatura, que para auxiliar na implementação dos conceitos da manufatura enxuta, busca definir taxas de produção que correspondem à demanda, ou seja, a unidade de tempo dentro da qual um produto deve ser produzido para corresponder à taxa na qual esse produto é necessário (FRANDSON; BERGHEDE; TOMMELEIN, 2013). A unidade de medida do *takt-time* na manufatura é, em geral, segundos por peça. Similar aos métodos anteriores, o objetivo do TTP é estabelecer um plano de produção que possibilite o balanceamento do fluxo de trabalho.

¹ Nesta pesquisa, serão empregados tanto a LdB quanto o *Flowline*. Contudo, independentemente do método, o termo Linha de Balanceamento será utilizado.

Frandsen, Berghede e Tommelein (2013) descrevem o TTP como um processo composto por seis passos: (i) coleta de dados; (ii) definição dos espaços de trabalho; (iii) identificação da rede de precedências; (iv) determinação da duração de cada atividade; (v) balanceamento do fluxo de trabalho; e, (vi) estabelecimento do plano de produção. Através da colaboração com a equipe de produção, essas seis fases são interativas até que o plano produção seja estabelecido (VATNE; DREVLAND, 2016). Este plano de produção consiste em pacotes de trabalho que podem ser concluídos dentro do *takt-time* e fornece a sequência em que eles devem ser concluídos. Isso ajuda a garantir que apenas os pacotes de trabalho que podem e devem ser feitos serão programados, corroborando com a metodologia do *Last Planner System* (LPS) de Ballard (2000) (VATNE; DREVLAND, 2016).

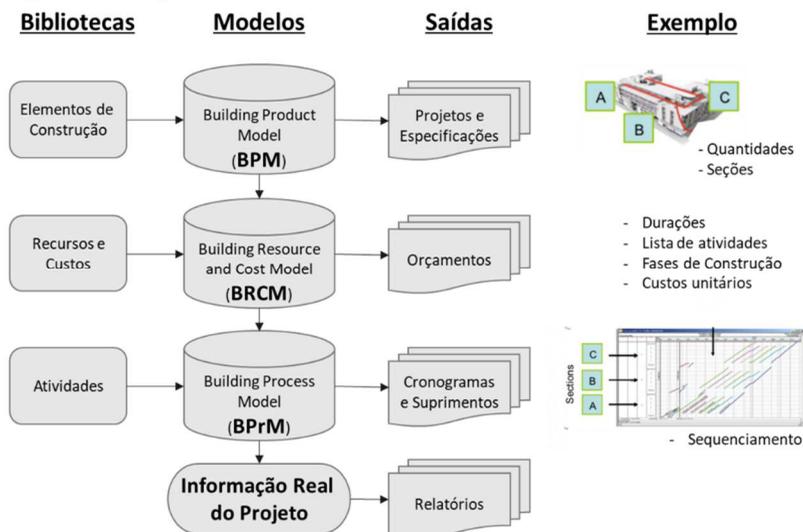
Para Bølviken, Aslesen e Koskela (2015), o TTP foca nos seguintes itens: (i) sentido de construção específico; (ii) divisão do edifício (ou qualquer objeto a ser construído) em locais de aproximadamente o mesmo tamanho; (iii) um pacote de trabalho por vez por local; (iv) o trabalho deve ser feito em intervalos de tempo de mesma duração; (v) entregas entre os pacotes de trabalho com controle de terminalidade e qualidade; e, (vi) *buffers* de tarefas e recursos.

2.5 PLANEJAMENTO BASEADO NO MODELO

O Planejamento baseado no modelo é um método de programação assistida por computador que processa automaticamente a informação recebida de modelos e cria uma plataforma de programação dinâmica (FIRAT *et al.*, 2009), esse método é chamado de BCIM (*Building Construction Information Model*). Tais autores sugerem que, o plano mestre baseado no modelo pode ser desenvolvido com a integração entre o BIM (*Building Information Modeling*) e a Linha de Balanceamento Avançada (LdBA) por meio da inserção de informações de um planejador.

O BCIM (Figura 6) é um modelo dinâmico e intercambiável de informações baseadas em bibliotecas que utiliza um *software* para permitir a geração semiautomática e parcialmente interativa de informações de projeto e produção, como projetos, especificações, listas de quantitativos, estimativas de custos, orçamentos, cronogramas, planos de aquisições, e relatórios de progresso (FIRAT *et al.*, 2008).

Figura 6 – Integração entre os três submodelos do BCIM.



Fonte: Adaptado de Firat *et al.* (2007) e Firat *et al.* (2009).

Este modelo é composto por três submodelos: o BPM (*Building Product Model*), o BRCM (*Building Resource and Cost Model*) e o BPrM (*Building Process Model*) (FIRAT *et al.*, 2008). O BPM separa o projeto em um conjunto de objetos de projeto, isto é, espaços, elementos de construção e suas arquiteturas de produto. O BRCM separa o projeto em um conjunto de objetos de recursos, ou seja, as quantidades de produtos de construção (procedentes do BPM), com preços atualizados, planejados para serem explorados para a fabricação e instalação. O BPrM separa o projeto em um conjunto de objetos de atividades, ou seja, tarefas associadas aos seus recursos (procedentes do BRCM) e produtividades para calcular as durações das atividades. (FIRAT *et al.*, 2008). Cada submodelo possui uma biblioteca para armazenar as informações geradas.

2.6 PACOTE DE TRABALHO

De acordo com o PMI (2017) o “Pacote de Trabalho (PT) é o trabalho definido no nível mais baixo da EAP. No contexto da EAP, o trabalho se refere a entregas que são o resultado da atividade e não a atividade propriamente dita. Um PT pode ser usado para agrupar as atividades onde o trabalho é programado, tem seu custo estimado, monitorado e controlado”. Deste modo, os conteúdos do trabalho do

projeto podem ser vistos como o conjunto de pacotes de trabalho obtidos pela aplicação da EAP (RAZ; GLOBERSON, 1998).

PERT Coordinating Group (1962) define o PT como "o trabalho necessário para completar uma atividade ou processo específico, como um relatório, um projeto, um requisito de documentação ou parte dele, um *hardware* ou um serviço".

De acordo com Halpin (1985), 'um PT é um subelemento de um projeto de construção no qual os dados de custo e tempo são coletados para gerar os relatórios de status do projeto. Todos os pacotes de trabalho combinados constituem a EAP do projeto'. Para Kim e Ibbs (1995), a pacotização do trabalho é mais do que o desdobramento das atividades da construção em menores unidades de trabalho, é uma atividade de planejamento que requer compreensão detalhada do escopo do trabalho e das restrições. Sem uma adequada consideração das restrições, os pacotes de trabalho não são um meio efetivo de gerenciar o trabalho (KIM; IBBS, 1995). Tais autores desenvolveram um modelo para o processo de pacotização do trabalho na instalação de tubulações da indústria petroquímica com foco em pacotes de trabalho de longo prazo.

Segundo Choo *et al.* (1999), um pacote de trabalho define uma quantidade de trabalho similar a ser feito (ou um conjunto de atividades), muitas vezes em um local definido, usando informações específicas de projeto, material, mão-de-obra, equipamentos e predecessora.

Grande parte dos autores citados acima relacionam o pacote de trabalho à EAP de projeto. Para o PMI (2017) a "EAP é a decomposição hierárquica do escopo total do trabalho a ser executado pela equipe do projeto a fim de alcançar os objetivos do projeto e criar as entregas exigidas. Sendo o processo de subdivisão das entregas e do trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis".

Os profissionais de gerenciamento de projetos reconhecem a EAP como a base para o planejamento, estimativa, programação e monitoramento das atividades (RAD, 1999). Segundo o autor, a EAP facilita o processo de integração entre o projeto, tempo, recursos e qualidade, simplificando o projeto pela sua divisão em elementos gerenciáveis. Não existe uma única forma correta de se construir uma EAP, o importante é que o código final faça sentido, representando tudo que será entregue como solução do projeto, e que seja aceito por todos os participantes (BUREK, 2011; SALOMÉ, 2015; FERREIRA; COSTA; ROSA, 2017).

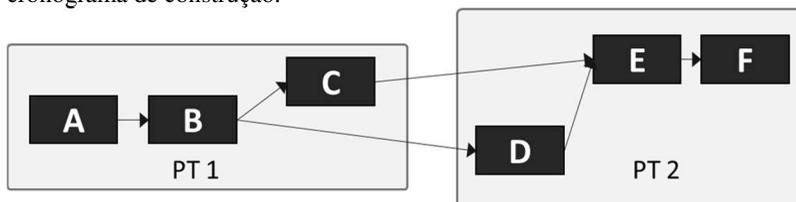
Segundo Marchiori (2009) "vários métodos de desdobramento do trabalho têm sido propostos na literatura, onde os autores definem que o denominador comum básico é o pacote de trabalho, o qual é um

subelemento da EAP onde, tanto os dados de custo quanto os de tempo são coletados para alimentar os relatórios de andamento do projeto. A estruturação com base nos pacotes de trabalho permite o gerenciamento integrado de projeto”.

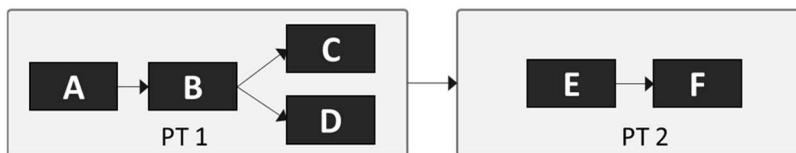
Como cada pacote de trabalho exige um certo nível de planejamento, controle e geração de relatórios, à medida que se decompõem o projeto em mais pacotes de trabalho aumenta-se a carga de trabalho do gerente de projeto e da equipe do projeto (RAZ; GLOBERSON, 1998). Portanto, é necessário buscar compreender o nível ideal de decomposição da EAP para cada projeto.

Raz e Globerson (1998) definem o grau de relação entre as tarefas que constituem um determinado PT como de “coesão interna do PT”. De acordo com tais autores, medidas relevantes da coesão são a responsabilidade, os recursos necessários, o prazo de execução, as condições de início da tarefa e os critérios de conclusão (Figura 7).

Figura 7 – Efeito do desenvolvimento dos PT na rede de precedências do cronograma de construção.



a. Rede de precedências entre tarefas em diferentes pacotes de trabalho.



b. Rearranjo das tarefas nos PT resultando na redução da rede.

Fonte: adaptado de Raz e Globerson (1998)

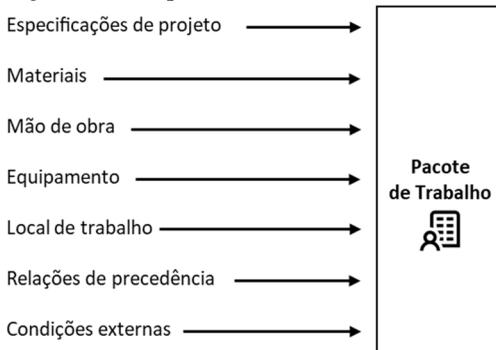
Choo *et al.* (1999) desenvolveram um programa chamado *WorkPlan*, com o objetivo de desenvolver sistematicamente planos de produção semanal como apoio ao *Last Planner System*. Segundo tais autores, os pacotes de trabalho que abrangem mais de uma semana devem ser divididos em unidades que levam uma semana ou menos para serem

concluídos, de modo que ele possa ser gerenciado semanalmente. Para Ballard (2000), no planejamento de curto prazo, realiza-se em um horizonte de 5 a 10 dias úteis e, nele, detalham-se as tarefas dos pacotes de trabalho para cada equipe, juntamente com as restrições para que as mesmas aconteçam. (BALLARD, 2000). Após a divisão no horizonte de uma semana ou menos dos Pacotes de Trabalho, eles devem ser sequenciados para manter o fluxo de produção (CHOO *et al.* 1999).

A introdução do conceito de fluxo é provavelmente a contribuição mais importante para a compreensão do processo de construção feito pela *lean construction* (BERTELSEN, 2004). Koskela (2000) identifica no mínimo sete pré-condições de fluxo de recursos para a perfeita execução de um pacote de trabalho (Figura 8): especificações de projeto, materiais, mão de obra, equipamento, local de trabalho, relações de precedência e condições externas (*e. g.* clima).

Agrupar atividades similares possibilita atingir o fluxo contínuo de recursos, por meio do deslocamento da mão de obra de um local para o outro (CHOO *et al.*, 1999). Ainda segundo tais autores, para evitar a mobilização e desmobilização, o pacote de trabalho não deve começar ao menos que possa terminar sem interrupções. Este critério ajuda a delimitar a quantidade de trabalho do pacote de trabalho.

Figura 8 – Sete pré-condições de fluxo de recursos do pacote de trabalho.



Fonte: adaptado de Koskela (2000)

Um dos conceitos introduzidos por Koskela (1992) é a simplificação. Koskela (2000) faz uma análise deste conceito sobre o pacote de trabalho: “ao estabelecer pacotes de trabalho estritamente sequenciais, as interdependências entre atividades são reduzidas e a organização e o planejamento da construção são simplificados”. A aplicação dos pacotes de trabalho pode auxiliar na melhoria da

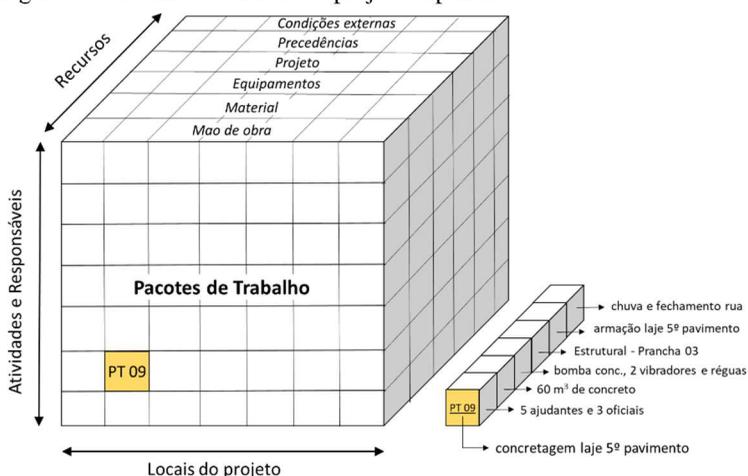
terminalidade na obra. Segundo Ibrahim *et al.* (2009), o pacote de trabalho pode ser declarado finalizado se é possível confirmar que todos os elementos que fazem parte de sua constituição estão completos.

Choo *et al.* (1999) preconizam que para o pacote de trabalho ser realizado com sucesso e sem interrupções, sete tipos de restrições devem ser atendidos: (i) contrato; (ii) engenharia; (iii) materiais; (iv) mão de obra; (v) equipamentos; (vi) precedências; e, (vii) condições do local de trabalho.

Conte e Gransberg (2001) recomendam que um desenho do processo deve ser desenvolvido para cada pacote de trabalho pertencente a LdB do projeto. Este desenho do processo determina o escopo do trabalho a ser executado, a sequência diária com metas parciais, o tamanho da equipe de produção, o material, os equipamentos e ferramentas necessários, e o momento no qual eles devem estar disponíveis para as frentes de serviço, a qualidade esperada, os padrões operacionais de desempenho e os pontos de segurança de trabalho para equipe do pacote de trabalho.

O pacote de trabalho pode servir tanto para um maior entendimento do planejamento e controle do prazo quanto do custo do empreendimento. A aplicação do pacote de trabalho aos custos (*i. e.* pacotes de custo) foi realizada por Halpin e Woodhead (1997), a qual é ilustrada na Figura 9. Tais autores, também demonstram os recursos a serem utilizados em cada pacote de trabalho por meio da matriz tridimensional.

Figura 9 – Matriz de controle do projeto expandida



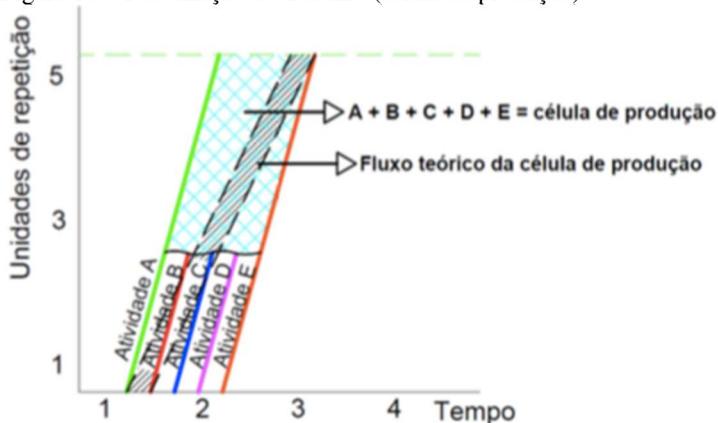
Fonte: adaptado de Halpin e Woodhead (1997) e Marchiori (2009).

A variabilidade na produção e a falta de sincronização entre os processos são dois importantes fatores que podem provocar as interrupções no fluxo de trabalho, aumentando a parcela de atividades que não agregam valor e a quantidade de estoques de produtos inacabados (BULHÕES; PICHI, 2011). Portanto, é necessário reduzir a variabilidade na execução dos pacotes de trabalho.

Neste trabalho, o uso do BIM 4D será aplicado para a formulação dos pacotes de trabalho da LdB e para facilitar a estabilidade básica dos ciclos de produção de cada pacote de trabalho. Samaniego (2007) e Bulhões e Picchi (2011) relacionam a estabilidade à quantidade de vezes que os processos seguem parâmetros pré-definidos, tais como a sequência planejada e pouca variação nos tempos. Smalley (2005) relaciona o conceito com a disponibilidade e previsibilidade dos 4M's (mão de obra, material, máquina e métodos).

Como visto anteriormente, o uso das pré-condições para implementação do pacote de trabalho engloba os 4M's e outros recursos inerentes aos processos da indústria da construção civil. Para a Toyota, a busca por um processo estável deve ser feita anterior a introdução dos conceitos de fluxo e do *takt-time* (SMALLEY, 2005) e de acordo com Ohno (1988), a base de um sistema de produção é a estabilidade básica. A pacotização do trabalho permite a sequência flexível de montagem e execução das atividades e pela aglutinação destas (Figura 10), a célula de produção passa a ser o caminho crítico, fazendo com que os trabalhadores se auto ajustem na execução das atividades (MOURA; HEINECK, 2014).

Figura 10 – Pacotização do trabalho (célula de produção).



Fonte: Moura e Heineck (2014).

2.6.1 Fichas de Pacote de Trabalho

Em uma parte dos trabalhos citados anteriormente, a síntese da formação dos pacotes de trabalho era feita, em meados da década de 90, por meio de fichas. A Figura 11 apresenta a ficha elaborada por Kim e Ibbs (1995) para os pacotes de trabalho de longo prazo na instalação de tubulações industriais. Pode-se observar que na ficha apresentada estão presentes as informações de identificação do pacote, responsáveis pelo desenvolvimento e execução, relações de precedência, escopo, durações, recursos (*i. e.* mão de obra, material e equipamentos) e especificações de projeto.

Raz e Globerson (1999) defendem que o baixo desempenho no nível do PT significa desempenho ruim no nível do projeto e, portanto, o sucesso do projeto depende da capacidade do gerente de projeto de definir, planejar e controlar adequadamente cada PT. Para tais autores, uma ferramenta importante para esse propósito é a ficha de formulação do PT, que descreve atributos relevantes do PT. Por captar informações-chave, a ficha de definição do PT não apenas facilita o processo de planejamento, mas também promove a comunicação e o acordo entre as partes envolvidas (RAZ; GLOBERSON, 1998). Também pode ser usado como base para um contrato, formal ou informal, entre o gerente de projeto como o cliente e a parte responsável pela execução do PT como seu fornecedor. A Figura 12 apresenta a ficha genérica de definição do PT, que segundo Raz e Globerson (1998), pode ser adaptada para diversos projetos. A ficha contempla informações de identificação do PT, recursos e seus custos, precedências, planejamento, controle de progresso e dos responsáveis pelo PT.

Algumas soluções comerciais para a sistematização das informações do PT podem ser encontradas. A Figura 13 apresenta a tela de amostra do PT do programa *SmartPlan® Construction* da *Intergraph®*. De acordo com a *Intergraph Corporation* (2012), é uma solução dinâmica de planejamento do PT, que atende às necessidades específicas de empresas de construção, escritórios de gerenciamento de projetos e fornecedores de recursos de construção. Os PT estão integrados em tempo real com os estoques de materiais, possibilitando o planejamento dinâmico do cronograma de obra. Também, é possível conectar o PT a modelos 3D do projeto. Durante a pesquisa, a maior parte das aplicações encontradas com o uso do programa, foi para obras industriais, principalmente na instalação de tubulações industriais. Na tela apresentada pelo programa, é possível visualizar informações de

identificação e descrição do PT, planejamento, especificações de projeto, componentes e materiais associados e imagens 3D do PT.

Figura 11 – Ficha de Pacote de Trabalho de Longo Prazo

LONG-TERM PIPING WORK PACKAGE: WP1201111								
PROJECT/WORK CATEGORY: XYZ OIL REFINERY/PIPING (1) BLOCK: 2 SYSTEM: 01 (AAA FEED SECTION) FABRICATION METHOD: STR RUN MATERIAL TYPE: CARBON STEEL SIZE: LARGE (>2")								
RESPONSIBILITY: Bob Oh (Piping Superintendent) DEVELOPED BY: Project Planning/Control Dept.						REVISION NO: 0 DATE: 12/1/82		
PRECEDING WORK PACKAGE(S) None					SUCCEEDING WORK PACKAGE(S) WP1201122			
PLAN				ACTUAL				
DURATION	START	FINISH	CREW	DURATION	START	FINISH	CREW	% REMAINING
2 weeks	01/01/83	01/14/83	12					
SCOPE General Description Install large size, carbon steel, str run pipelines in AAA FEED SECTION of BLOCK #2 for 2 weeks. Boundaries and/or Related Items Excluded APPLICABLE DRAWINGS, SPECIFICATIONS, OTHER ENGINEERING Refer to work group piping complexity list WGP1201111 Refer to plot plan of BLOCK #2. Refer to piping plan drawing of AAA FEED SECTION.								
RESOURCES								
Material			Labor			Construction Equipment		
2,450 linear feet of 4" carbon steel pipe and 210 linear feet of 3" carbon steel pipe. Refer to work group piping complexity list			FOREMAN ID:					
			CREW ID:					
			Crew Size: 12 Workers Per Week					

Fonte: adaptado de Kim e Ibbs (1995).

Figura 12 – Ficha genérica de formulação do PT

Work Package Definition Form

Identification:

Project Name _____ Project Code _____ Project Manager _____
 WP Name _____ WP Code _____ WP Owner _____
 Deliverables _____
 Revision No. _____ Date _____ Previous Revision _____

Resource Requirements:

Human Resources	Quantity	Other Resources	Quantity	Cost
Hardware Engineer	_____	Subcontractor	_____	_____
Software Engineer	_____	Equipment	_____	_____
Editor	_____	Materials	_____	_____
Programmer	_____	Facilities	_____	_____
Other	_____	Other	_____	_____

Total Budget for the Work Package: _____

Dependencies:

Required Inputs _____
 Required Coordination _____
 Completion Criteria _____
 Immediate Successors _____
 Risks _____

Schedule:

Duration (days/weeks) _____ Late Start _____ Scheduled Start _____
 Early Start _____ Late Finish _____ Scheduled Finish _____
 Early Finish _____

Progress Control:

Criteria for Performance Measurement _____
 Internal Milestones/Expected Date _____

Approvals:

Responsible Party	Name _____	Signature _____	Date _____
WP Customer	Name _____	Signature _____	Date _____
Project Manager	Name _____	Signature _____	Date _____

Fonte: Raz e Globerson (1998).

Figura 13 – Tela de identificação do PT do programa *Intergraph® SmartPlant® Construction*

Sample Work Package

Information Schedule Drawings Components Materials Files Snapshots

Work Package Number Sample Work Package
 Description Sample work package
 Status Preliminary
 CWP Number 1.8.5 - LK3-Piping/Systems
 EWP Number 1.8.5
 Contractor 100-23456 - Contractor A
 Discipline Piping
 Purpose Installation
 Design Area AREA1

Details Save Close

Fonte: *Intergraph Corporation* (2012).

Choo *et al.* (1999) no programa *WorkPlan*, realizam a inserção das informações do pacote de trabalho por meio de passos dentro do programa (Figura 14) e compilam as informações do PT no sistema.

Figura 14 – Tela do *WorkPlan* para inserção das informações do Pacote de Trabalho

The screenshot shows the 'Work Package Entry Form' with the following data:

WP Code	110	Project No	97-309-C
Description	PH Roof-Area A: Metal Deck Installation		
Budget	\$0.00	Input Constraints	

Buttons: Add Work Package, Delete Work Package, Input Constraints, and navigation arrows.

Fonte: adaptado de Choo *et al.* (1999).

A Figura 15 apresenta a tela de detalhamento dos motivos de não realização das atividades, que podem ser divididos em cinco categorias. Podem ser encontradas informações de identificação do número e descrição do pacote de trabalho, de contrato, de engenharia (plano de ação para resolução de problemas), recursos e precedências.

Figura 15 – Tela do *WorkPlan*: controle dos motivos de não execução do PT

The screenshot shows the 'Work Package Constraints' screen with the following data:

Work Package No: 97-309-C-110
 Work Package Description: PH Roof-Area A: Metal Deck Installation

Detailed Constraints:

- Contract
- Engineering
- Material
- Labor and Equipment
- Prerequisite Work

Complete (1)

Problem	Solution	Completed
Shop drawings not turned in.	Call A&B	<input checked="" type="checkbox"/>

Incomplete (0)

Problem	Solution	Completed
Submittals not turned in.		<input type="checkbox"/>
Submittals unapproved.		<input type="checkbox"/>
Shop drawings not turned in.		<input type="checkbox"/>
Shop drawings unapproved.		<input type="checkbox"/>
Outstanding RFIs		<input type="checkbox"/>
Methods and procedures undecided		<input type="checkbox"/>
Assembly drawings unreceived		<input type="checkbox"/>

Fonte: adaptado de Choo *et al.* (1999).

Com base no exposto acima, esta pesquisa propõe fichas de PT para cada horizonte de planejamento, as quais serão apresentadas no capítulo de método e resultados.

2.6.2 Célula de Produção

Um conceito que pode contribuir na definição e otimização dos pacotes de trabalho no nível operacional é o da célula de produção. O primeiro trabalho em células de produção originou-se em pesquisas conduzidas na antiga União Soviética por Sokolovsky na década de 1930. Ele propôs que "produtos de características e configuração semelhantes deveriam ser fabricados da mesma forma por um processo tecnológico padrão" (HYDE, 1981).

Em seu trabalho, Kemmer, Heineck e Alves (2008), aplicaram a LdB no desenvolvimento do PSP e durante as primeiras apresentações dos planos táticos para os gerentes de projeto, estes perceberam a possibilidade de agrupar tarefas - em pacotes de trabalho - para reduzir o tempo de ciclo das tarefas do início ao fim e simplificar o gerenciamento do projeto. Os gerentes decidiram que os pacotes de trabalho deveriam ser executados por células de produção (*i. e.*, equipes encarregadas de entregar um produto definido pela gerência). Segundo tais autores, antes da implementação das células de produção, o processo de alvenaria tinha um longo tempo de ciclo, pois o processo era dividido em várias pequenas entregas executadas por diferentes equipes e equipes em diferentes pontos do tempo. Esta composição aumenta a terminalidade no sistema de produção por melhorar a transparência nos processos.

“Uma célula é um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem sequencial, através do qual as partes são processadas em um fluxo contínuo” (ROTHER; HARRIS, 2002). Patussi e Heineck (2006) definem célula de produção como sendo um arranjo onde a matéria-prima é processada e o produto entregue completo no final do processamento, sendo fundamental o trabalho em equipe. Dentro da célula os trabalhadores devem trabalhar próximos, dentro de uma sequência e ritmo ideal, a fim de evitar perdas por retrabalho e espera. De acordo com Santos (1999, *apud* PATTUSSI; HEINECK, 2006) o pacote de trabalho ou lote de produção deve apresentar grupos de tarefas similares e afins que constituem a célula de produção, necessárias para concluir esta etapa da obra e que serão entregues ao próximo cliente interno.

Para Hyer e Brown (1999), a célula de produção é o ambiente de produção que dedica os materiais e a locação física dos equipamentos à

produção da família de partes ou produtos. Este modelo é considerado com célula real, ou seja, aquela que alcançou seu pleno potencial e conseguiu os benefícios desejados. Para o pleno desenvolvimento de uma célula deve-se ter o conhecimento do pedido de produção, previsões de material e serviços preventivos e envolvimento com os setores de apoio (PAIXÃO; MOREIRA; MAUÉS, 2010).

Segundo Picchi e Granja (2004) as células de produção, considerada uma das bases da criação de fluxo na manufatura (SUZAKI, 1987), foram pouco exploradas na construção. Picchi e Granja (2004) indicam que Howell *et al.* (1993) e Ballard e Tommelein (1999) analisaram as interações entre os diversos ciclos de trabalho envolvendo diferentes equipes, concluindo que a falta de balanceamento entre atividades é importante fator de incerteza nos fluxos de construção.

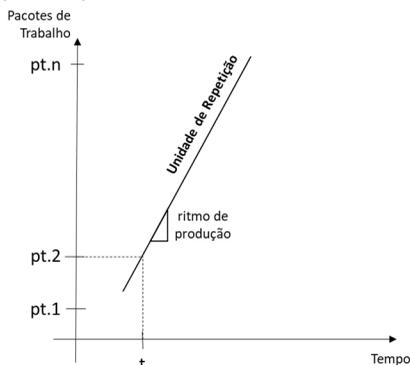
De acordo com Kemmer, Heineck e Alves (2008), para evitar o fluxo de reentrada das células de produção nos locais (*e. g.* apartamento), ou seja, que a mesma célula de produção tenha que trabalhar duas ou mais vezes em momentos distintos da obra, é necessário realinhar os métodos de construção objetivando pacotes de trabalho sequenciais. Para Mendes Junior e Heineck (1998), um dos benefícios das células de produção é minimizar a variabilidade agrupando tarefas similares. À medida que os membros das equipes trabalham mais próximos um dos outros, eles podem prestar mais atenção à qualidade dos produtos executados e tornar a resolução de problemas mais rápida. Nesta pesquisa, se buscará aplicar os conceitos de célula de produção dentro dos pacotes de trabalho do nível operacional.

2.7 PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS DE PACOTES DE TRABALHO

Os métodos de planejamento citados anteriormente (*i. e.* gráfico de Gantt, linha de balanceamento etc.) focam na visualização e controle das atividades pertencentes ao projeto. A visualização do sistema produtivo na indústria da manufatura foca no controle do andamento do produto em cada processo de sua transformação.

Já o WPLBS explora o uso da visualização do andamento do produto “local” (*e. g.* pavimento tipo, em edifícios de múltiplos pavimentos), por meio dos seus processos de transformação ou pacotes de trabalho. Para exemplificar, a Figura 16 apresenta no eixo x o tempo, no eixo y os pacotes de trabalho pertencentes a produção da unidade de repetição e na área gráfica o comportamento da unidade de repetição.

Figura 16 – Princípio do Planejamento baseado em locais de pacote de trabalho (PBLPT)



Fonte: adaptado de Mendes Junior (1999).

O objetivo deste método é entender o comportamento do ritmo de produção da unidade de repetição em cada processo ou pacote de trabalho e diminuir seu *lead time*. Teve o início de sua aplicação no final da década de 90 (CONTE, 1997; JUNIOR; SCOLA; CONTE, 1998; CONTE; GRANSBERG, 2001) e foi desenvolvido pelo Eng^o Antonio Sergio Itri Conte².

Este trabalho aplicou o PBLPT no estudo empírico 1, para visualizar o comportamento do pavimento tipo (*i. e.* o produto) no sistema de produção desenvolvido, com o objetivo de analisar o seu fluxo de produção, identificar gargalos, tempos de espera e enxergar o *lead time* de maneira complementar às demais técnicas de planejamento.

2.8 LEAN CONSTRUCTION

No início dos anos 90, para melhorar o desempenho da indústria da construção, alguns pesquisadores iniciaram o desenvolvimento do gerenciamento da produção em projetos de construção com base no aprendizado advindo da indústria de manufatura japonesa (KOSKELA, 1992; BALLARD; HOWELL, 1998; TOMMELEIN, 1998; GAO; LOW, 2014; TOMMELEIN, 2015), a qual alcançou vantagem competitiva global após a Segunda Guerra Mundial ao adotar certas técnicas e princípios de gerenciamento de produção, conhecidos como Sistema

² Membro fundador do *International Group for Lean Construction* (IGLC) e atual presidente do *Lean Construction Institute* do Brasil.

Toyota de Produção (STP), que posteriormente foi explicado sob o termo *Lean Production System (LPS)* ou Sistema de Produção Enxuta (WOMACK *et al.*, 1990; FUJIMOTO, 1999; SHAH; WARD, 2007; JASTI; KODALI, 2015). Segundo Tezel, Koskela e Aziz (2018), com o tempo, os esforços associados à adaptação das técnicas e princípios do LPS à construção civil foram denominados *Lean Construction (LC)* ou Construção Enxuta (HOWELL, 1999; BALLARD; HOWELL, 2003; TOMMELEIN, 2015).

Alcançar o fluxo estável nos processos de produção é o princípio central do *lean thinking* ou pensamento enxuto (WOMACK; JONES, 1996). Tais autores, organizaram os fundamentos do *lean thinking* em cinco princípios:

- (i) **Valor:** identificar o que é valor, no ponto de vista do cliente;
- (ii) **Fluxo de Valor:** Mapear o fluxo de valor e remover os desperdícios;
- (iii) **Fluxo:** fazer o produto fluir continuamente no sistema produtivo;
- (iv) **Puxar:** deixar o cliente puxar a produção de produtos; e,
- (v) **Perfeição:** gerenciar em direção a perfeição.

De acordo com Spear e Bowen (1999), o conhecimento que norteia o STP por ser explicado com quatro regras básicas:

- (i) **Trabalho:** especificado quanto ao conteúdo, sequência, tempo, resultado;
- (ii) **Conexões:** todas as comunicações devem ser diretas e não ambíguas;
- (iii) **Caminhos:** para cada produto e serviço deve ser simples e direto; e,
- (iv) **Melhorias:** realizadas com método científico no nível mais baixo da organização.

Tais autores discutem como essas regras podem criar um ambiente com alto nível de delegação que possibilita a melhoria contínua descentralizada sem criar caos.

Ballard e Howell (2003) consideram projetos como sistemas de produção temporários. Quando esses projetos são estruturados para entregar o produto, maximizando valor para o cliente e minimizando desperdícios, são considerados projetos "enxutos". O gerenciamento de projetos enxutos difere do gerenciamento tradicional nos objetivos, na estrutura de suas etapas, na relação entre etapas e nos participantes em cada etapa (BALLARD; HOWELL, 2003). O grande desafio para a *lean*

construction não é transformar a construção em um processo de fabricação, mas manter o foco no processo de construção, respeitando sua relação à arte de construção milenar (BETERLSEN, 2004). A introdução do conceito de fluxo é provavelmente a contribuição mais importante para a compreensão dos processos de construção realizada pela comunidade de pesquisa em *lean construction* (BETERLSEN, 2004)

Koskela (1992) descreve onze princípios para gestão dos processos na produção: (1) Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor; (2) Aumentar o valor do produto por meio da consideração sistemática das necessidades dos clientes; (3) Reduzir a variabilidade; (4) Reduzir o tempo de ciclo; (5) Simplificar o processo através da redução do número de passos ou partes; (6) Aumentar a flexibilidade de saída; (7) Aumentar a transparência do processo; (8) Focar o controle no processo global; (9) Introduzir melhoria contínua nos processos; (10) Balancear as melhorias de fluxo e de conversão; e, (11) *Benchmarking*.

Alguns anos depois, Koskela (2000) desenvolve a teoria TFV (*Transformation-Flow-Value*), com a organização dos princípios em três grupos, *i. e.*, transformação, fluxo e valor. De acordo com Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009), a abordagem TFV estende a visão tradicional da construção para um conjunto de atividades de transformação independentes, em que os materiais são transformados em produtos, abrangendo o fluxo de trabalho, materiais, informações, espaço, custo, entre outros, por meio de um processo (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Valor é a terceira visão da produção na construção, possibilitando identificar desperdícios em qualquer processo, distinguindo entre atividades que agregam ou não valor ao cliente (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009).

A eliminação sistemática dos desperdícios por meio de um conjunto de práticas que sincronizam a produção com a demanda é um dos focos da manufatura enxuta (WOMACK *et al.*, 1990). Ohno (1988) propôs sete categorias de desperdícios: movimentação desnecessária; espera; defeitos; superprodução; estoque, processamento desnecessário; e, transporte. Koskela (2004) propôs como oitava categoria de desperdício o *making-do* e o definiu como sendo a redução de desempenho de uma tarefa por ela ser iniciada e continuada sem que todos itens necessários para sua execução estejam disponíveis. Formoso *et al.* (2011) realizaram estudos exploratórios no Brasil sobre a incidência do *making-do* nos canteiros de obra e identificaram limitações no planejamento para evitar este desperdício, também indicaram que esta categoria de desperdício pode ser a causa raiz para outros, como redução

da segurança, problemas de qualidade, retrabalho e atividades iniciadas e não finalizadas.

Os princípios da *lean construction* aplicados aos sistemas produtivos no canteiro de obra aumentaram a conscientização sobre os benefícios do fluxo trabalho estável e puxado de equipes e materiais para reduzir os estoques e aumento da transparência do processo para as partes envolvidas (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Isatto e Zuchetti (2014) exploraram o uso da ferramenta do Mecanismo da Função da Produção proposta por Shingeo Shingo em 1945 e parte integrante do STP para o planejamento de um método de produção aplicado ao processo de produção da estrutura de concreto armado em edifícios residenciais a partir da consideração simultânea dos fluxos de materiais e de trabalhadores e máquinas. Como resultado do estudo, tais autores, atingiram aumento na produtividade e redução nos tempos de ciclo na execução dos pavimentos.

O gerenciamento na indústria da construção precisa cada vez mais integrar processos, tecnologias e pessoas para apoiar os objetivos estratégicos e buscar eliminar os desperdícios para obter resultados mais eficientes (NASCIMENTO *et al.* 2017). Para tais autores, o uso sinérgico dos princípios do BIM e da *lean construction* pode trazer melhorias contínuas para a indústria da construção. Jongeling (2006) atingiu resultados satisfatórios no gerenciamento do fluxo de trabalho por meio da combinação entre o BIM 4D e a LdB no modelo de processo. Kenley (2004) assinala o problema de identificar fluxos de trabalho em sistemas de produção baseado em atividades como parte das dificuldades do planejamento baseado em atividades. Tal autor argumenta que a utilidade do método *Last Planner System* é limitada a aplicações baseadas em atividades. Todavia, diversos trabalhos buscam integrar o LPS com o planejamento baseado em locais (CONTE; GRANSBERG, 2001; SEPPÄNEN *et al.*, 2010; BARBOSA *et al.*, 2013; FRANDSON *et al.*, 2014; OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016).

2.9 *LAST PLANNER SYSTEM*

O *Last Planner System*, desenvolvido por Ballard (2000) e Greg Howell, é um sistema de planejamento e controle de produção usado para amenizar as variações dos fluxos nas obras, desenvolver previsões de planejamento e na reduzir a incerteza nas operações de construção (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). De acordo com tais autores, inicialmente, o LPS lidava com variações no fluxo de trabalho no nível do plano de produção semanal, mas logo foi expandido para

abranger todo o processo de planejamento da construção, desde o plano mestre, passando pelo *lookahead* até chegar no plano de produção semanal. Beterselsen (2004) indicia que o LPS é visto como um método para gerenciar o fluxo de trabalho, contudo, a premissa básica de seu desenvolvimento, o LPS é para gerenciar a variabilidade dos diversos fluxos da construção.

Conforme visto anteriormente, o LPS nasceu da visão do planejamento baseado em atividades (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). O LPS é um processo social que envolve discussão e planejamento com as equipes de obra para assegurar que as tarefas programadas não estejam ociosas esperando pelos trabalhadores e que os trabalhadores não estejam ociosos esperando pelas tarefas (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Segundo Ballard (2000), o LPS é um mecanismo para transformar o que poderia ser feito no que pode ser feito, utilizando o plano de produção semanal. O LPS possui cinco elementos principais integrados:

- (i) Plano Mestre;
- (ii) *Phase Schedule* (divisão do plano mestre em fases);
- (iii) *Lookahead* (Planej. de médio prazo);
- (iv) *Weekly Work Plan*, ou Plano de Produção Semanal (Planej. de curto prazo); e,
- (v) Percentual de Pacotes Completos (PPC) e Análise das causas do não cumprimento do plano.

O plano mestre é um processo de planejamento que descreve o trabalho a ser executado durante toda a duração do projeto, estabelece objetivos globais e restrições que norteiam o projeto (BALLARD, 2000). Compreende atividades em nível de projeto, identifica as principais datas de marco, principalmente em relação ao contrato e as propostas de valor do cliente (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Outrossim, define-se o sequenciamento, a duração e o ritmo das grandes etapas da obra (FORMOSO; MOURA, 2009). *Phase Schedules* são planos faseados do plano mestre e detalhados para execução de uma fase específica do projeto, *e. g.*, preparação do canteiro, fundações, superestrutura, revestimentos etc. (BALLARD, 2000).

Antes de entrar no horizonte de *lookahead*, as atividades do plano mestre ou do *phase schedule* são explodidas em um nível de detalhe apropriado para atribuição em planos de produção semanal (PPS), o que desdobra as atividades em diversas atividades. Em seguida, cada tarefa é submetida à análise de restrições para determinar o que deve ser feito para torná-la pronta para ser executada (BALLARD, 2000). O LPS assume que os pacotes de trabalho programados contêm restrições que os

impedem de ser iniciados ou completados no prazo (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Restrições são os pré-requisitos para liberação de uma tarefa (*e. g.* predecessoras, especificações de projeto, mão-de-obra, material, equipamento, ferramentas, espaço, clima etc.) (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). As restrições são reveladas e endereçadas ao processo de planejamento de médio prazo (KIM; BALLARD, 2010). O gerenciamento de restrições pode ajudar a otimizar os planos de produção, identificando conflitos de recursos e resolvendo-os antes do início da tarefa. Sem a remoção de restrições, é difícil gerenciar e reduzir as incertezas do fluxo de trabalho que frequentemente causam variações no processo (CHUA *et al.*, 2003).

A ferramenta para o processo de *lookahead* é um cronograma de tarefas em potencial das próximas 3 a 12 semanas (BALLARD, 2000). O número de semanas durante as quais um processo de *lookahead* se estende é decidido com base nas características do projeto, na confiabilidade do sistema de planejamento e nos prazos de entrega de materiais, mão de obra, equipamentos e especificações de projeto. No projeto piloto apresentado por Ballard (2000), o *lookahead* contempla um horizonte de cinco semanas, sendo uma semana pertencente ao PPS.

Ballard (2000) descreve seis funções do processo de *lookahead*: (i) formar a sequência do fluxo de trabalho e seu ritmo de produção; (ii) equalizar o fluxo de trabalho com a capacidade produtiva; (iii) decompor o plano mestre em pacotes de trabalho e operações; (iv) detalhar os métodos para execução das tarefas; (v) manter estoque de tarefas liberadas para execução; e, (vi) atualizar e revisar o *phase schedule* e o plano mestre.

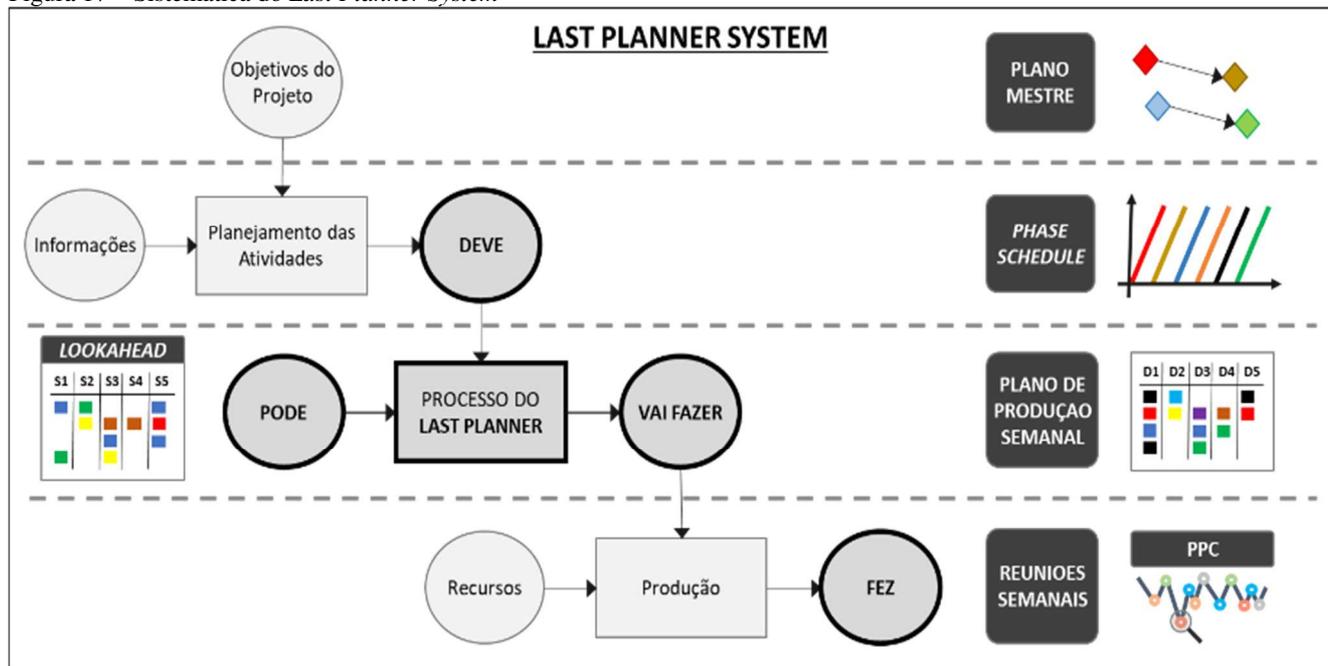
Conforme apresentado na Figura 17, o LPS pode ser entendido como um mecanismo de transformar aquilo que DEVE ser feito em o que PODE ser feito, formando um estoque de tarefas liberadas, do qual o Plano de Produção Semanal pode ser desenvolvido (BALLARD, 2000). De acordo com Ballard (2000), a inclusão das tarefas no PPS é parte de processo de comprometimento entre os *Last Planners* (*i. e.* mestre de obras, encarregados, donos de empreiteiras) daquilo que eles realmente IRÃO FAZER.

Durante a realização das reuniões semanais, além da programação das tarefas para próxima semana de produção, devem ser verificadas se as tarefas na semana anterior foram realizadas, se não foram identificar a causa da não realização e o plano de ação para realização da tarefa e evitar a recorrência do problema. O indicador resultante da reunião é o PPC, que corresponde a relação entre nº total de pacotes concluídos sobre o nº total

de pacotes 100% programados. Ballard (2000) indica que o PPC é uma medida de eficácia do sistema de gestão da produção no nível operacional.

Bølviken, Aslesen e Koskela (2015) descrevem os critérios de qualidade para os diferentes horizontes do LPS. Cada horizonte tem um propósito específico. No nível do plano mestre, deve ser estabelecido um cronograma estratégico viável e que contenha o adequado sequenciamento das atividades. No *phase schedule*, as fases devem ser independentes, ou seja, possam ser executadas sem a interferências das demais fases. No Plano de Produção Semanal, devem estar contidas apenas tarefas sólidas, com todas as condições prévias para a produção no local (KOSKELA, 1999). Isso pode ser atingido por meio do *lookahead*. Bølviken, Aslesen e Koskela (2015) resumem o foco do LPS em três pontos: (i) bom sequenciamento das atividades; (ii) atividades independentes; e (iii) tarefas sólidas.

O trabalho de Ballard no LPS mostrou uma maneira eficiente de entender e gerenciar o fluxo do processo de construção e para muitos dentro do setor LPS é sinônimo de *lean construction* (BERTELSEN, 2004).

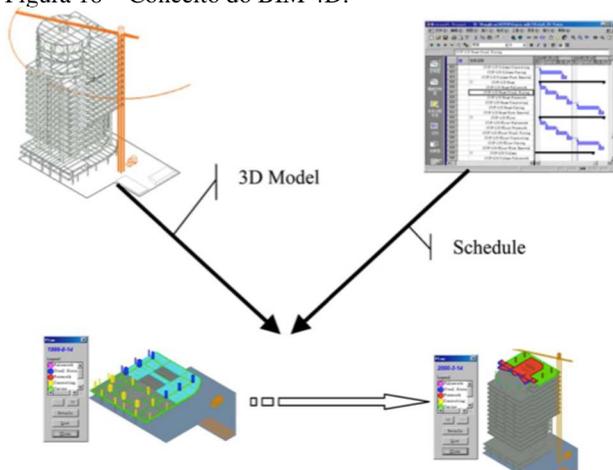
Figura 17 – Sistemática do *Last Planner System*

Fonte: adaptado de Ballard (2000).

2.10 BIM 4D

Na construção civil o BIM 4D conecta modelos geométricos 3D com informações do cronograma da obra (Figura 18). A conexão visual entre as condições do canteiro de obras e do cronograma nas etapas de planejamento e construção pode facilitar a tomada de decisão (CHAU; ANSON; ZHANG, 2004).

Figura 18 – Conceito do BIM 4D.



Fonte: Wang *et al.* (2004).

A aplicação do BIM 4D é uma abordagem promissora para ajudar a introduzir inovações na construção e avaliar alternativas de construção (JONGELING, 2008). A implementação de métodos avançados de gerenciamento da produção, como os conceitos da *lean construction* de desenvolvimento dos pacotes de trabalho para estabilizar o fluxo de trabalho, puxar o fluxo de mão de obra e materiais e o controle da qualidade no processo, exige um fluxo de informações rápido e preciso das frentes de serviço (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). De acordo com Akinçi, Fisher e Kunz (2002) os modelos de produção 4D fornecem uma forma simples e poderosa de representar informações de projeto e construção. Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) indicam que o ponto chave (*i. e.* tornar o processo transparente para todos os participantes) é mais difícil de alcançar na construção do que na manufatura, porque as equipes se movimentam continuamente dentro de um ambiente físico que está mudando. O uso de ferramentas CAD, não

apenas do produto final da construção, mas também dos processos de construção, pode facilitar o processo de acompanhamento da obra

Formoso *et al.* (2002) definem a transparência de processo como a “habilidade de um processo de produção de se comunicar com as pessoas”. Devido à natureza dinâmica e dispersa dos ambientes físicos e os modelos de contratação fragmentados típicos da construção, o uso da visualização BIM 4D da construção pelas partes envolvidas no projeto é ideal para gerar transparência do processo (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009).

Os primeiros modelos 4D foram desenvolvidos por organizações envolvidas em obras complexas, principalmente no setor de energia e infraestrutura, no final da década de 80 (EASTMAN *et al.*, 2011). Nos últimos 20 anos, os avanços nas tecnologias 3D BIM proporcionaram a oportunidade de usar o modelo 3D para gerenciar informações de construção (WANG *et al.*, 2004). De acordo com tais autores, em um ambiente 3D, planejadores, designers e engenheiros podem visualizar imagens realistas do projeto de construção. Em vez disso, os planejadores têm que visualizar a sequência da construção, a logística do espaço de trabalho e a utilização de recursos e equipamentos em sua mente, relacionando estes pontos ao tempo e ao espaço. (WANG *et al.*, 2004). Os planejadores também podem praticar análises de hipóteses para avaliar e comparar várias opções de planejamento para selecionar uma estratégia melhor (WANG *et al.*, 2004).

Sacks *et al.* (2010) argumentam que o BIM 4D e a simulação das sequências de construção proporcionam a oportunidade para identificar conflitos de recursos no espaço e no tempo e resolver problemas de construtibilidade por meio da visualização dos processos de construção. Isso permite a otimização do processo, a melhoria da eficiência e da segurança, pode ajudar a identificar gargalos e otimizar os fluxos. Segundo Eastman *et al.* (2008), o BIM permite um processo de construção mais bem planejado, economizando tempo e dinheiro e reduzindo o potencial para erros e conflitos entre os projetos na obra.

O BIM é uma representação digital do processo de construção para facilitar o intercâmbio e a interoperabilidade da informação em formato digital (EASTMAN *et al.*, 2008). Nesse sentido, a implementação do BIM na prática de construção promete melhorar a comunicação e colaboração entre os participantes através do aumento da interoperabilidade de dados (HARDIN, 2009). Para análises do BIM 4D, um modelo menos detalhado pode ser suficiente, porém ele necessita conter elementos temporários (*e. g.* andaimes, escavações) e apresentar como a construção será realizada (EASTMAN *et al.*, 2008). Tais autores sugerem que, na concepção do

modelo, os objetos devem ser agrupados de acordo com as fases da construção e conectados com as atividades do cronograma de obras. Por exemplo, se a concretagem da laje será feita em três etapas, a laje deve ser modelada em três seções para que esta sequência possa ser planejada e ilustrada.

Como parte desta pesquisa, foi realizada a revisão sistemática da literatura de 145 artigos que abordam a aplicação da modelagem BIM 4D na ICC e qual o foco empregado, visando identificar a sua relação com *lean construction* (CORRÊA, MARCHIORI, 2017). Como resultado, não se pode identificar padrão na aplicação do 4D. Esta customização do uso pode ser explicada pelo fato de cada projeto ser único e apresentar diferentes desafios e oportunidades. Entretanto, existem aplicações mais recorrentes, como: uso para o gerenciamento dos espaços de trabalho e das atividades de fluxo; análises de segurança e detecção de colisões entre equipamentos; melhoria do planejamento da obra por meio da visualização do cronograma e no monitoramento do avanço da obra, objetivando automatizar a atualização do cronograma. Estados Unidos da América, Reino Unido e Brasil foram os três países que mais publicaram no tema da pesquisa e o tipo de obra mais recorrente foi residências multifamiliares. Também, verificou-se que 35% dos artigos relacionam as aplicações do BIM 4D com conceitos advindos da *lean construction*. Gestão visual, *Last Planner System*, gerenciamento dos fluxos do canteiro e melhoria no fluxo de informações são benefícios e ferramentas que estabelecem conexões entre os dois conceitos (CORRÊA, MARCHIORI, 2017).

Scheer *et al.* (2006), já apontava naquela época que, as construtoras estavam dando maior atenção ao processo produtivo ao passo que deixam de pensar somente na qualidade do produto. A gestão da informação pode fornecer aos seus usuários maior agilidade no fluxo de informação, atuando diretamente no processo de tomada de decisão. Contudo, a falta de mão de obra tecnologicamente qualificada nos canteiros de obras e a falta de investimento por parte dos gestores em TI dificulta o crescimento da indústria da construção no que diz respeito a avanços tecnológicos no processo de produção (SCHEER *et al.*, 2006). A Figura 19 apresenta os passos do processo de desenvolvimento do planejamento baseado em locais com o uso do BIM 4D proposto por Dermidoven (2015).

Figura 19 – Passos do planejamento baseado em locais com o uso do BIM 4D.

Planejamento baseado em locais com o 4D BIM				
Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	Passo 5
<i>Location Breakdown Structure</i>	<i>Location-based quantities</i>	Definição dos Pacotes de Trabalho	Atribuição dos Recursos	Representação e otimização da Linha de Balanceamento
<p>Definir os locais em termos de sistema, geometria, níveis e áreas do modelo;</p> <p>Os módulos de custo e o cronograma usam quantidades por local para calcular a quantidade de mão de obra, material e equipamentos e, em seguida, determinar o número de horas trabalhadas por local.</p>	<p>Obter os quantitativos por local utilizando os elementos do modelo 3D;</p> <p>Nos custos estão compreendidas as quantidades de mão de obra, material e equipamento.</p>	<p>Definir os pacotes de trabalho com o uso das informações de quantitativo;</p> <p>Calcular a quantidade de trabalho associada a cada pacote de trabalho com o uso do coeficiente de produtividade</p>	<p>Atribuir os recursos aos pacotes de trabalho com o uso das técnicas de otimização do planejamento baseado em locais;</p> <p>A produção pode ser otimizada utilizando alguns métodos: - Ajustando a mão de obra, dividindo os pacotes de trabalho para possibilitar ritmos de produção similares etc.</p>	<p>Otimizar o planejamento com o uso das técnicas de otimização do planejamento baseado em locais e a visualização do planejamento 4D BIM;</p> <p>As redes de precedência podem ser expostas graficamente por meio da linha de balanceamento.</p>

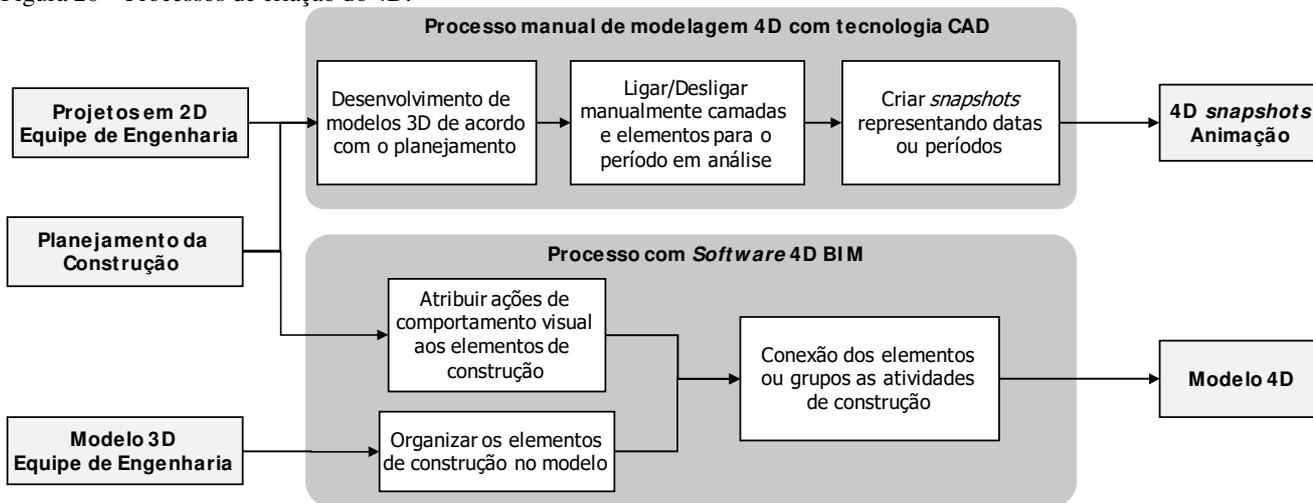
Fonte: adaptado de Demirdoven (2015).

Biotto (2012) e posteriormente Bortolini (2015) apresentaram duas abordagens para o desenvolvimento de modelos 4D (Figura 20). A primeira abordagem, processo manual de modelagem 4D com tecnologia CAD, desenvolve o modelo 3D baseado em projetos 2D e por meio da opção de exibir e ocultar elementos do modelo 3D, simula as fases da obra em que se deseja analisar. E, com o uso de *snapshots* das fases do modelo 3D, apresenta os períodos da obra que se deseja analisar. Segundo Eastman *et al.* (2011), se o planejamento é modificado, a imagem tem de ser alterada manualmente no modelo, visando criar um novo conjunto de *snapshots* e animações. A segunda abordagem, processo com *software* BIM 4D, emprega um *software* 4D (e. g. *Navisworks*, *Synchro Professional*, *Vico Office 4D Manager* etc.) utiliza um modelo 3D e faz a conexão dos elementos do modelo com as atividades do cronograma da construção. Neste processo, pode haver a necessidade de modificar o modelo 3D recebido inicialmente para se adaptar aos requisitos da análise 4D das estratégias da construção.

Segundo Eastman *et al.* (2008), os benefícios do BIM 4D são:

- **Comunicação:** os planejadores podem comunicar visualmente o processo de construção planejado a todas as partes interessadas do projeto. O BIM 4D captura os aspectos temporais e espaciais do cronograma e com mais eficiência do que o tradicional gráfico de barras;
- **Contribuições das partes interessadas:** BIM 4D é frequentemente utilizado em fóruns para apresentar aos leigos como o projeto pode impactar o tráfego, o acesso a um hospital ou outras preocupações críticas da comunidade;
- **Logística do canteiro:** os planejadores podem gerenciar áreas de depósito, acesso, localização de equipamentos de grande porte, abastecimento etc.;
- **Coordenação das Atividades:** os planejadores podem coordenar as durações e os fluxos de trabalho no canteiro;
- **Comparar cronogramas e acompanhar o avanço da construção:** os gerentes de projeto podem comparar diferentes cronogramas e identificar se o projeto está no caminho certo ou atrasado.

Figura 20 – Processos de criação do 4D.



Fonte: adaptado de Eastman *et al.*, (2011), Biotto (2012) e Bortolini (2015).

O planejamento BIM 4D atrai a atenção dos gerentes de projeto por sua velocidade de processamento e capacidade dos *softwares* disponíveis. Hoje, os programadores podem escolher entre uma variedade de ferramentas e processos para construir modelos 4D (DEMIRDOVEN, 2015). Estes incluem um processo manual usando ferramentas 3D ou 2D; recursos 4D integrados em uma ferramenta 3D ou BIM; ou exportando modelos 3D para ferramentas 4D e importando um cronograma (EASTMAN *et al.*, 2008).

De Brito e Ferreira (2015) citam que a capacidade de visualização das informações de planejamento e controle nos modelos BIM 4D e a habilidade de comunicar informações sobre o avanço e discrepâncias em relação ao planejado com eficácia é estratégica para o gerenciamento de projetos, pois possibilita a tomada de ações corretivas em tempo hábil. Os resultados da pesquisa de tais autores indicam que a integração e comunicação entre os envolvidos no projeto e a redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento estão entre os maiores potenciais da utilização dos modelos BIM 4D, que pode facilitar a compatibilização dos níveis de planejamento e o desenvolvimento de estratégias para produção adaptadas às particularidades da ICC.

Algumas outras pesquisas no âmbito nacional relacionam o BIM ao planejamento de obras. Rodrigues *et al.* (2018) propuseram a integração do modelo BIM à lógica do *Last Planner*. Para tais autores, a sinergia decorrente entre o modelo e o *Last Planner*, mediante a verificação automática das restrições, do gerenciamento visual e da integração das partes envolvidas com o planejamento de médio e curto prazos, os torna mais eficientes. Scheer *et al.* (2014) aplicaram a integração do BIM com o gerenciamento do planejamento e do custo em uma obra de casas de baixo padrão para identificar as vantagens e desvantagens do uso do BIM 4D/5D durante a fase de construção de um empreendimento.

Reck (2013) desenvolveu um método para a elaboração do PSP utilizando a modelagem BIM 4D e simulação de eventos discretos de forma integrada, na tomada de decisão de empreendimentos habitacionais de interesse social. Em relação ao benefícios do uso do BIM 4D a autora destaca: (i) aumento da comunicação e entendimento das decisões; (ii) maior integração dos participantes em relação as necessidades financeiras e logísticas para cada cenário; (iii) maior transparência ao processo de tomada de decisão. Chaves (2015) propôs recomendações para o uso de BIM 4D na gestão da produção de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Reisdorfer (2018) buscou estruturar o processo para a modelagem BIM 4D de uma empresa voltada ao planejamento e controle de obras,

para autora a modelagem 4D garante a realização de planejamentos mais consistentes e traz mais eficiência e rigor no acompanhamento de obras.

Outro conceito que também contribui para o planejamento e gestão de obras é da Construção Virtual, ou *Virtual Design and Construction* (VDC). Embora o termo BIM tenha sido criado há muito tempo e o VDC tem sido usado mais recentemente, é válido dizer que esses dois termos indicam o uso de modelos CAD paramétricos para análise de vários projetos e problemas de construção (KHANZODE *et al.*, 2008). Acredita-se que o VDC e o *lean construction* podem contribuir significativamente para aumentar o valor do produto e a eliminação de desperdícios nos projetos de construção (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007).

Fischer *et al.* (2004) define VDC como o uso de modelos computacionais multidisciplinares no setor da construção, que incluem o produto (*i. e.* edifício), a organização do projeto, construção, equipes e processos de construção para apoiar os objetivos do empreendimento. Ou seja, visa possibilitar a análise, simulação e previsão da qualidade do produto e das características do processo de construção e operação do produto (JONGELING, 2006).

Na ICC brasileira, o VDC está sendo aplicado como o processo de criação de modelos 3D a partir de projetos 2D e/ou transformação dos modelos 3D do produto final nas diferentes disciplinas (*i. e.* arquitetura, estrutura, instalações etc.) em um modelo 4D e 5D que possibilite a obtenção de quantitativos para elaboração de orçamentos, conforme os métodos construtivos da construtora, e simulações e análises 4D das fases da obra. Por exemplo, no modelo 3D desenvolvido inicialmente para definição do produto final, a parede é definida como um volume, sem informações de camadas de revestimento. Portanto, para fins de orçamento e planejamento, esta parede deve ser reconstruída virtualmente, aumentando o nível de detalhamento que se pode obter deste elemento construtivo do projeto.

Outro conceito que pode influenciar na expansão da implementação do BIM 4D na ICC é o *Digital Twin*, ou Gêmeo Digital, que foi primeiramente apresentado por Grieves em uma de suas apresentações sobre PLM (*Product Lifecycle Management*) em 2003 na Universidade de Michigan (QI *et al.*, 2018) e vem sendo aplicado na Indústria da Manufatura. Segundo tais autores, devido ao potencial para o desenvolvimento disruptivo da indústria, o *Digital Twin* vem recebendo cada vez mais atenção. *Digital Twin* é a criação de modelos virtuais de alta fidelidade para objetos físicos, como forma de simular seus comportamentos (HOCHHALTER, 2014). O conceito potencializa as possibilidades para realizar a fusão entre o digital e o físico (QI *et al.*,

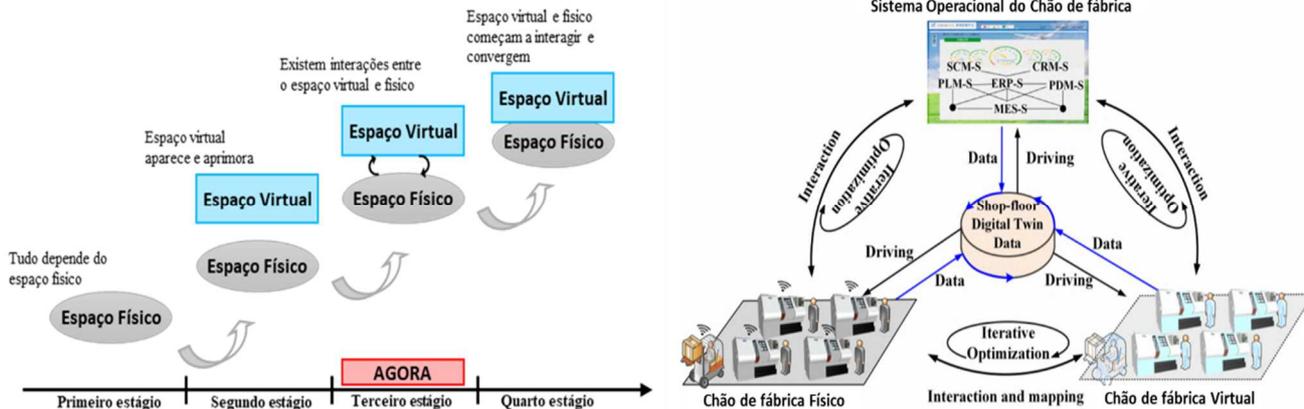
2018). A Figura 21 apresenta a evolução do processo do chão de fábrica em relação à adoção do seu *Digital Twin*, que na Indústria da Manufatura pode ser considerado no terceiro estágio (TAO *et al.*, 2017). Segundo tais autores, o conceito do *Digital Twin* no chão de fábrica (*Digital Twin Shop-Floor*) é constituído de quatro componentes: (i) chão de fábrica físico; (ii) chão de fábrica virtual; (iii) sistema operacional do chão de fábrica; e, (iv) o banco de dados do *Digital Twin* do chão de fábrica.

Características da ICC como sistemas de produção temporários, projetos únicos, produtos fixos, processos de produção fragmentados e baixa repetitividade podem dificultar a implementação do *Digital Twin* e a evolução da indústria 4.0 no setor. No presente trabalho, o pavimento tipo é comparado ao produto de uma linha de produção, esta visão reducionista do empreendimento pode contribuir com a implementação dos conceitos acima por reduzir os esforços necessários para o desenvolvimento e focar nos elementos com repetitividade do projeto.

2.11 PROJETO PARA PRODUÇÃO

Na formulação dos pacotes de trabalho, além dos projetos arquitetônicos, instalações, estruturais, entre outros, o projeto para produção pode auxiliar no detalhamento das tarefas a serem realizadas. Segundo Aquino e Melhado (2003), o projeto para produção na construção de edifícios surgiu no final anos 80 e início dos anos 90, por iniciativa de empresas construtoras na cidade de São Paulo, visando ampliar o conceito de projeto em função da necessidade de que ele apoiasse também à produção. O convênio entre a Escola Politécnica da USP e a ENCOL em 1989 para elaboração de diretrizes para o desenvolvimento de diversos projetos voltados à produção foi o ponto inicial para esse processo, inclusive com o desenvolvimento de pesquisas posteriores sobre o assunto no meio acadêmico (AQUINO; MELHADO, 2003).

Figura 21 – Evolução do processo do chão de fábrica e Modelo conceitual do *Digital Twin* do chão de fábrica



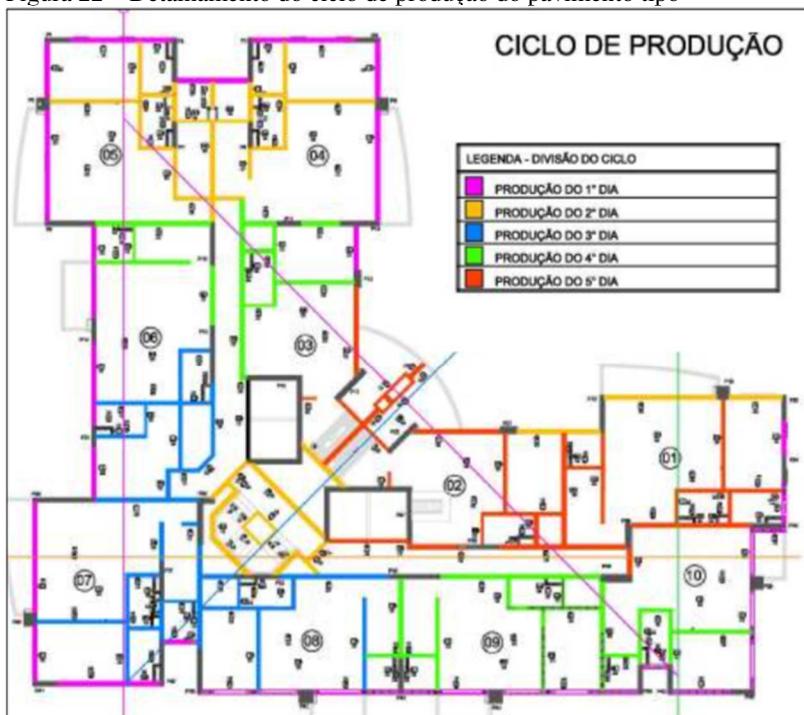
Fonte: adaptado de Tao *et al.* (2017).

O conceito de projeto para produção na construção de edifícios foi inserido por Melhado (1994), como um conjunto de elementos de projeto desenvolvidos de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo e que traz fundamentalmente elementos da atividade de produção como arranjo e sequência das tarefas, frentes de serviço, disposição e evolução do canteiro, dentre outros. Diferentemente dos projetos de produto, que apresentam as características do produto final, os projetos para produção visam responder como fazer, onde a finalidade é aproximar o projeto do produto da produção (AQUINO; MELHADO, 2003).

Chalita (2010) define o projeto para produção como uma ferramenta organizacional que especifica completamente e de forma sistêmica a maior parte das atividades para produzir um subsistema da edificação e que engloba o projeto do processo e incorpora o projeto do produto, o planejamento e a gestão da produção visando a execução das atividades contínuas, sem alterações e improvisos, garantindo prazos, custos e qualidade.

Aquino e Melhado (2003) definem o projeto para produção como resultado do esforço integrado dos diversos agentes do processo que, com o objetivo de minimizar custos, aumentar a produtividade, melhorar a qualidade final do produto e facilitar a produção, discutem e selecionam alternativas de projeto que considerem esses aspectos. De acordo com Fabrício e Melhado (1998), projetos para produção devem cumprir a função de subsidiar a construtora com informações de conteúdo tecnológico que exponham como aplicar os materiais de construção, obter o melhor desempenho na execução das tarefas, qual a sequência de atividades etc. Um exemplo do conteúdo do projeto para produção pode ser visto em Chalita (2010), que desenvolveu o projeto para produção da elevação de alvenaria. A planta de distribuição geral da produção (Figura 22) define, dentro do ciclo de produção adotado, a sequência executiva das paredes, por dia de produção (CHALITA, 2010).

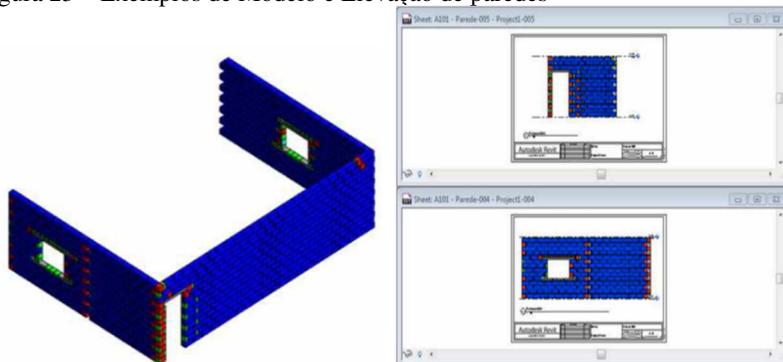
Figura 22 – Detalhamento do ciclo de produção do pavimento tipo



Fonte: Chalita (2010).

Monteiro (2011) propõe um modelo de representação para os objetos do Projeto para Produção de Vedações Verticais em Alvenaria (PPVVA) aplicável a qualquer CAD-BIM que tenha suporte ao conceito de famílias e ao desenvolvimento de novos comandos utilizando recursos de linguagem de programação, de forma permitir a execução das seguintes atividades do PPVVA: (i) Modulação de alvenaria das paredes considerando as interfaces entre paredes/paredes e paredes/esquadrias; (ii) Geração da documentação do PPVVA necessária para obra, *i. e.* plantas de fiadas e elevações de paredes (Figura 23); e, (iii) Extração de quantitativos.

Figura 23 – Exemplos de Modelo e Elevação de paredes



Fonte: adaptado de Monteiro (2011).

Durante o desenvolvimento dos estudos empíricos 1, 2 e 3 desta pesquisa, as empresas participantes não possuíam projetos para produção, portanto não foi possível avaliar a contribuição dos projetos para produção na formulação dos pacotes de trabalho.

2.12 CONTROLE DE OBRA

O controle adequado do cronograma durante a construção é fundamental para a realização do planejado e o alcance dos objetivos do empreendimento (DOSSICK; SCHUNK, 2007; ELBELTAGI; DAWOOD, 2011). Devido à aleatoriedade e incerteza no processo de construção, o realizado em obra pode variar do planejado. O cronograma deve ser atualizado de modo dinâmico para se adequar ao processo prático da construção (ZHONG et al., 2008).

O objetivo do acompanhamento e controle da produção é fornecer uma ligação entre o planejamento e a execução das atividades operacionais, identificando os desvios, sua magnitude e fornecendo subsídios para que os responsáveis pelas ações corretivas possam agir (TUBINO, 2000). Em geral, o modelo de controle gera relatórios de desvios de custo e tempo. Além disso, fornece a base para análise e diagnóstico das razões por trás do desempenho inaceitável do sistema produtivo. A variação de tempo pode surgir em projetos repetitivos devido a alterações na data de início, alteração na duração da unidade (devido a alterações nas quantidades executadas ou nas produtividades das equipes) e/ou alteração no número da mão de obra (ELBELTAGI; DAWOOD, 2011).

A maioria dos estudos dedicados ao desenvolvimento de modelos e técnicas de controle de projetos desenvolveu principalmente sistemas de controle de projetos baseados em *softwares* que incorporam conceitos quantitativos de gerenciamento de projetos, como a análise de valor agregado (ACEBES *et al.*, 2014). Olawale e Sun (2015) realizaram um *survey* no Reino Unido com 250 empresas e entrevista com 15 especialistas para identificar as principais deficiências no projeto e controle da construção. Tais autores abordaram na pesquisa as principais técnicas utilizadas para o planejamento e controle do tempo e do custo nos projetos (Tabela 1). Para o planejamento e controle do tempo, a técnica do “Gráfico de Gantt” foi a mais recorrente. Em relação ao planejamento e controle do custo, a técnica de “Custo x Valor do Projeto” foi a mais utilizada.

Tabela 1 – Técnicas usadas para planejamento e controle do tempo e do custo do projeto

Técnicas para o TEMPO	Construtoras	Consultores
Gráfico de Barras (Gantt)	35.0%	33.0%
Método do Caminho Crítico (CPM)	28.0%	34.0%
Milestone Date Programming Technique	17.0%	17.0%
Program Evaluation and Review Technique (PERT)	10.0%	9.0%
Método do Diagrama de Precedência (MDP)	2.0%	2.0%
Linha de Balanceamento (LdB)	5.0%	2.0%
Outras técnicas não incluídas nas citadas acima	5.0%	8.0%
Técnicas para o CUSTO	Construtoras	Consultores
Custo x Valor do Projeto	22.0%	20.0%
Lucro ou Perda global	15.0%	16.0%
Atual x Projetado	18.0%	11.0%
Lucro ou Prejuízo de cada contrato	17.0%	10.0%
Custo Unitário	8.0%	3.0%
Custo Padrão	6.0%	14.0%
Análise do Valor Agregado	7.0%	11.0%
Program Evaluation and Review Technique (PERT/COST)	7.0%	4.0%

Fonte: adaptado de Olawale e Sun (2015).

Segundo Zhang e Liang (2018), o gerenciamento do controle da construção é a parte central do gerenciamento de projetos, mas a sua eficácia ainda não é satisfatória. Para tais autores, devido à grande quantidade de informações, a falta de plataforma de gerenciamento visual, o método de controle do avanço físico tradicional é muitas vezes

divergente e atrasado do processo de coleta e compartilhamento de informações do projeto, fazendo com que o controle de avanço físico seja o ponto fraco do gerenciamento do controle da construção. No entanto, atualmente, a simulação do BIM 4D é limitada ao estágio de planejamento anterior ao início da construção, que é usado principalmente para demonstração de simulação do plano de construção e ferramenta de análise visual para o planejamento do cronograma. Zhang e Liang (2018) propõem em seu trabalho um sistema de controle da construção dinâmico e visual.

O presente trabalho adota o controle pelos marcos de projeto no nível estratégico, seguido da técnica da LdB para adequar o sistema de produção no nível tático às metas estabelecidas no nível estratégico. Do nível tático ao operacional, são utilizados o *Last Planner System* em conjunto do Gráfico de Gantt para geração do PPS (Plano de Produção Semanal). O instrumento das fichas de pacote de trabalho é aplicado para a padronização dos pacotes de trabalho, seguido da estabilização do ciclo de produção e possibilitando a aplicação da melhoria contínua.

2.13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresentou os conceitos relacionados ao PSP, ao PSO, ao Planejamento baseado: (i) em Atividade; (ii) em Locais; (iii) no Modelo; e, (iv) em Locais de Pacote de Trabalho, aos Pacotes de Trabalho, à *Lean Construction*, ao BIM 4D, ao Projeto para Produção e ao Controle de Obra.

Neste trabalho, para o desenvolvimento das estratégias de produção serão aplicados os conceitos do PSP (BALLARD; HOWELL, 2003) e no desdobramento para os níveis táticos e operacionais os conceitos do PSO (BIOTTO *et al.*, 2017), do LPS (BALLARD, 2000) e do planejamento em ondas sucessivas (PMI, 2017). Em relação às técnicas de planejamento serão utilizadas a LdB, o Gráfico de *Gantt* e o *WPLBS*. Para a geração das fichas de PT, foram utilizadas as sete pré-condições de fluxo de recursos do pacote de trabalho (Figura 8) apontadas por Koskela (2000) e as fichas demonstradas na Figura 12 e Figura 15 como base para formatação e disponibilização das informações.

As análises de melhoria dos processos de produção foram conduzidas pelas sete categorias de desperdícios (OHNO, 1988), pelos 11 princípios para gestão dos processos na produção (KOSKELA, 1992) e pelos 5 princípios do pensamento enxuto para alcançar o fluxo estável nos processos de produção (WOMACK; JONES, 1996). O processo para criação dos modelos BIM 4D seguiu o sugerido por Eastman *et al.*,

(2011), Biotto (2012) e Bortolini (2015). O desenvolvimento dos elementos do modelo BIM 4D teve como base o *VDC* e o projeto para produção (MELHADO, 1994).

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Van Aken (2004) distingue três categorias de pesquisas científicas: (i) as ciências formais, como filosofia e matemática; (ii) as ciências explicativas, como as ciências naturais e grande parte das ciências sociais; e, (iii) as pesquisas construtivas, ou *Design Science*, como as engenharias, medicina e a psicoterapia moderna. A missão do *Design Science* é desenvolver um conhecimento para a concepção e realização de artefatos (*i. e.* resolver problemas de construção), no caso da engenharia, ou para melhorar o desempenho de entidades existentes (*i. e.* resolver problemas de melhoria), no caso da medicina e psicoterapia.

A *Design Science Research (DSR)* se constitui em um processo rigoroso de projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011). Kehily e Underwood (2015) discutem em seu trabalho a aplicação do *DSR* como um método para pesquisas em BIM, segundo tais autores o *DSR* emana de uma filosofia de pesquisa prática e descreve um processo formulado que pode ser utilizado para desenvolver e avaliar uma tecnologia ou prática do BIM. A *DSR* tem amadurecido como abordagem principalmente na áreas de Tecnologia e Gestão da Informação (LACERDA *et al.*, 2013).

Na *DSR* uma "solução" para um problema de campo assume a forma do que é conhecido como constructo artificial ("artefato"), objeto artificial para resolver problemas práticos (JOHANNENSON; PERJONS, 2012). Tais autores explicam que artefatos podem ser entidades físicas (*e. g.* martelo, carro), desenhos, um conjunto de diretrizes ou uma solução de Tecnologia da Informação (TIC). Deste modo, uma tecnologia BIM (aplicação TIC) pode ser classificada na *DSR* como um artefato (KEHILY; UNDERWOOD, 2015). Herver *et al.* (2004) alertam para o fato de o artefato ser mais uma ideia, uma prática ou um produto parcial ao invés de uma solução TIC pronta para ser comercializada e, portanto, é isso que diferencia o artefato de um *software*. Desta forma, a partir dos objetivos que se quer alcançar, acredita-se que a presente pesquisa se enquadra dentro do que o *design science research* possibilita resolver.

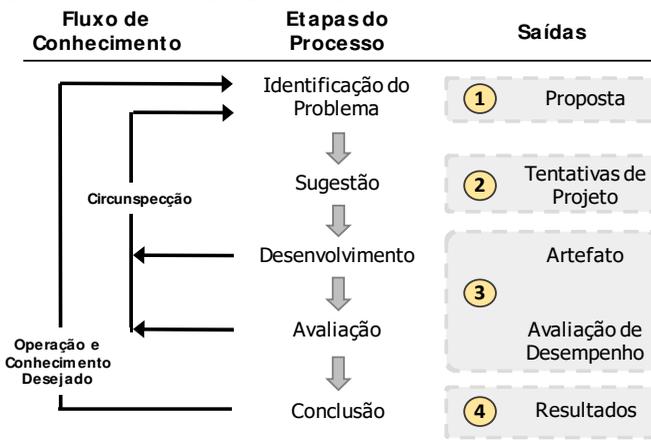
Aplicando este princípio para as pesquisas em BIM, a pesquisa não necessariamente precisa ser uma interface BIM completamente desenvolvida (KEHILY; UNDERWOOD, 2015), e sim o que Van Aken (2004) chama de "regra tecnológica", que descreve os procedimentos e o

funcionamento da ideia proposta (HEVNER *et al.*, 2004). Para Kehily e Underwood (2015) esta perspectiva se encaixa nas pesquisas acadêmicas em BIM, na qual a ideia pode ser proposta pelo pesquisador e a implementação ser desenvolvida por um fornecedor de *software*.

Segundo Kehily e Underwood (2015) os métodos tradicionais de pesquisa acadêmica tendem a focar na realidade existente, que busca explicar a existência de fenômeno no ambiente. No entanto, o BIM se concentra em uma nova realidade através da mudança nas práticas de trabalho, portanto, é necessária uma metodologia que facilite a avaliação dessa nova realidade. Uma abordagem prática da pesquisa é discutida, nesta há uma maior participação no processo de pesquisa pelo pesquisador.

Alguns autores propõem diferentes esquemas de condução do *DSR* (TAKEDA *et al.*, 1990; MANSON, 2006; PEFFERS *et al.*, 2008; LACERDA *et al.*, 2013). Kehily e Underwood (2015) propõem um processo dividido em 4 fases na aplicação do *DSR* para o desenvolvimento e avaliação de um artefato BIM. A primeira fase de condução (Figura 24) consiste em diagnosticar um problema de relevância prática. Tais autores citam que um exemplo aplicável na pesquisa em BIM é a investigação sobre as atuais práticas de trabalho, na qual pode-se diagnosticar um problema que poderia ser mais eficiente por meio da abordagem BIM para a entrega do projeto. Como alternativa, uma tecnologia BIM (artefato) poderia ser utilizada para automatizar um processo complexo e prolongado nas práticas tradicionais 2D.

Figura 24 – Metodologia genérica para o *DSR*.



Fonte: adaptado de Kehily e Underwood (2015) e Lacerda *et al.* (2013).

Na segunda fase, o pesquisador deve propor (desenvolver) um conceito de solução para o problema. Para Kehily e Underwood (2015), ao propor uma tecnologia BIM como solução para um problema prático, o pesquisador precisa, além de apresentar o artefato desenvolvido, demonstrar como foi desenvolvido, o processo reflexo das tomadas de decisões ao desenvolver a solução final. Deste modo, a “regra tecnológica” por trás do artefato é delineada. Este processo deve dar origem para um número de diferentes demonstrações de iterações à medida que a solução/tecnologia evolui.

A terceira fase visa implementar a solução e avaliar o processo em ação. Os métodos devem ser avaliados considerando a operacionalidade (*i. e.* a capacidade de executar a tarefa pretendida ou a capacidade de as pessoas utilizarem o método, se não é algorítmica), ciência, generalidade e facilidade de uso (MARCH; SMITH, 1995; LACERDA *et al.*, 2013).

Na quarta fase, deve-se identificar e avaliar as contribuições para o conhecimento prático e teórico. O resultado da pesquisa em *DSR* não é apenas o artefato, mas também o efeito do artefato no ambiente ao qual foi introduzido. Isso instiga um processo na pesquisa BIM que implica na avaliação de um novo processo ou tecnologia BIM e da sua capacidade de melhorar as práticas de trabalho (JOHANNENSON; PERJONS, 2012, MARCH; SMITH, 1995, KIHELY; UNDERWOOD, 2015).

Artefatos podem ser definidos em 4 tipos: constructos, modelos, métodos e instâncias (MARCH; SMITH, 1995). Um modelo é um conjunto de proposições que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de *design*, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, uma representação de como as coisas são. Um método é um conjunto de passos (algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe. Os métodos são criações típicas das pesquisas em *DSR* (LACERDA *et al.*, 2013).

O *Design Science* consiste em duas atividades, construir e avaliar (MARCH; SMITH, 1995). Para tais autores, construir é o processo de desenvolver um artefato para um propósito específico e avaliar é o processo de determinar o desempenho do artefato. A implementação dos modelos propostos pela pesquisa construtiva deve ser avaliada com relação à utilidade do artefato, caracterizando seus impactos no ambiente e seus usuários. A avaliação de métodos considera operacionalidade, eficiência, generalidade, facilidade de uso, consistência e qualidade dos resultados obtidos pelos analistas que aplicam o método (MARCH; SMITH, 1995). Alguns trabalhos que utilizam o *DSR* no desenvolvimento

de artefatos para aplicação do BIM 4D na construção, optaram pelos constructos de utilidade e facilidade de uso como métrica de avaliação (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; CHAVES, 2015; BORTOLINI, 2015; FENATO *et al.*, 2018).

Portanto, a *DSR* foi escolhida para o desenvolvimento da presente pesquisa por esta propor um artefato para solucionar um problema prático e buscar avaliar a viabilidade de aplicação deste artefato na indústria da construção civil.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da presente pesquisa é apresentado na Figura 25 e segue a as fases de condução propostas por Kehily (2015): i) diagnosticar um problema; ii) propor (desenvolver) um conceito de solução; iii) implementar a solução e avaliar o processo em ação; iv) identificar e avaliar as contribuições para o conhecimento.

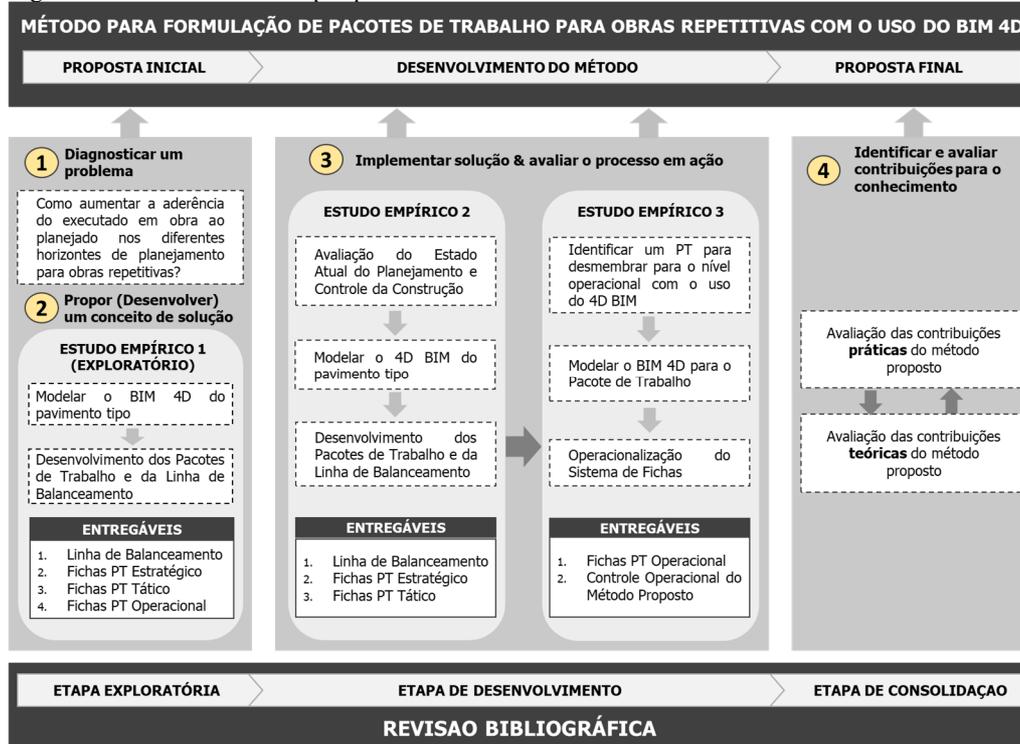
3.3 ESCOLHA E CAPACITAÇÃO NAS FERRAMENTAS E INSTRUMENTOS PARA PESQUISA

Na fase de planejamento para LdB, o autor observou a necessidade de uma ferramenta para geração e alteração dos pacotes de trabalho e para plotagem gráfica das linhas de balanceamento para a análise dos fluxos, para tanto, foram analisados os seguintes *softwares*: (i) VICO; (ii) Microsoft Excel; e, (iii) Microsoft Project. O objetivo desta fase é escolher qual destes softwares é mais eficiente³ na elaboração da LdB. O Microsoft Excel foi escolhido para a geração e alteração dos pacotes de trabalho e para plotagem gráfica das linhas de balanceamento para a análise dos fluxos, pelo fato do pesquisador ter conseguido gerar e alterar as informações necessárias para o método em menor tempo se comparado aos demais *softwares*.

Para o desenvolvimento do Modelo BIM do pavimento tipo foram avaliados os *softwares Autodesk Revit e Archicad*. O *Autodesk Revit* foi escolhido pelo pesquisador por este ter maior familiaridade com o *software*.

³ Mais flexível para alterações, inclusão e eliminação de pacotes de trabalho, melhor apresentação, desenvolvimento simples.

Figura 25 – Delineamento da pesquisa.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na fase de geração do modelo 4D, foram analisados os seguintes *softwares*: (i) *Autodesk Revit*; (ii) *Autodesk Navisworks Manage/Simulate*; (iii) *Synchro Professional*; (iv) *Vico Office 4D Manager*; (v) *Bentley Navigator*; (vi) *Innovaya Visual 4D Simulation*; (vii) *Smarplan e*, (viii) *Gehry Techonologies Digital Project Extensions*. Para o estudo empírico 1, 2 e 3, foi escolhido o uso do *Autodesk Revit*, por meio da estratégia de processo manual de modelagem 4D, pelo fato deste *software* possibilitar agrupar os itens de cada pacote de trabalho por elementos de grupo, agilizando o processo de alteração dos elementos pertencentes a cada grupo, da possibilidade de isolar os elementos e categorias durante as análises de desenvolvimento dos PT e pela facilidade da elaboração das tabelas de quantitativos de forma dinâmica ao desenvolvimento do PTs com o uso da propriedade “comentários”. Outro ponto influente na decisão, foi poder utilizar somente um *software*, sem a necessidade de importação e exportação, para gerenciar as alterações.

Para a geração das fichas de PT, foram utilizadas as sete pré-condições de fluxo de recursos do pacote de trabalho (Figura 8) apontadas por Koskela (2000) e as fichas demonstradas na Figura 12 e Figura 15 como base para formatação e disponibilização das informações. O desenvolvimento e aprimoramento das fichas PT estão apresentados no capítulo de resultados do presente trabalho.

O modo de apresentação do modelo BIM 4D para as equipes de projeto, engenharia em obra foi por meio do uso de computador portátil, pela própria tela do computador e quando disponível, por retroprojetor ou monitor. A apresentação das fichas de PT para as equipes de projeto e engenharia foi feita por meio de computador portátil, para a equipe de obra foi utilizada a ficha de PT impressa em papel A4. A informação da meta de execução era transmitida para os responsáveis pela execução do serviço (*i. e.* pedreiro, encanador) de forma verbal pelos encarregados e mestres de obra. Quando disponível, a equipe de obra pode visualizar as fichas de PT por meio de telefone celular com o arquivo enviado em formato PDF. Não foi possível testar a visualização com uso de *tablet* pela falta de disponibilidade do dispositivo.

3.4 FICHAS DE PACOTES DE TRABALHO, ATRIBUTOS E CRITÉRIOS DE DESDOBRAMENTO

Para a condução do método proposto, foram desenvolvidas fichas de PT com base na literatura (KIM; IBBS, 1995; HALPIN; WOODHEAD, 1997; RAZ; GLOBERSON, 1998; CHOO *et al.* 1999;

KOSKELA, 2000; MARCHIORI, 2009). A Figura 26 apresenta a ficha PTE genérica resultante dos estudos empíricos 1 e 2. As informações e atributos contidos nas fichas de PTE contemplam as informações gerais como nome do PTE, (1) ciclo de produção, responsável pela execução e pelo desenvolvimento, data e número da última revisão e escopo. O (2) dispositivo visual da meta do PTE com o uso do modelo BIM 4D, o quantitativo dos (3) materiais necessários retirados do modelo e desdobrados do PTE, a (4) mão de obra necessária calculada com o uso da produtividade fornecida pela empresa, os (5) equipamentos para movimentação dos recursos da área de estoque até o local de aplicação, (6) especificações de projeto (*e. g.* na ficha de impermeabilização foram adicionadas informações e imagens para auxiliar no entendimento e terminalidade do PTE), o (7) local de execução, as (8) relações de precedência, as (9) condições externas / riscos atrelados ao pacote de trabalho e por sugestão da equipe de engenharia informações relativas à (10) segurança do trabalho, ou seja, especificações de EPC e EPI atreladas ao PTE.

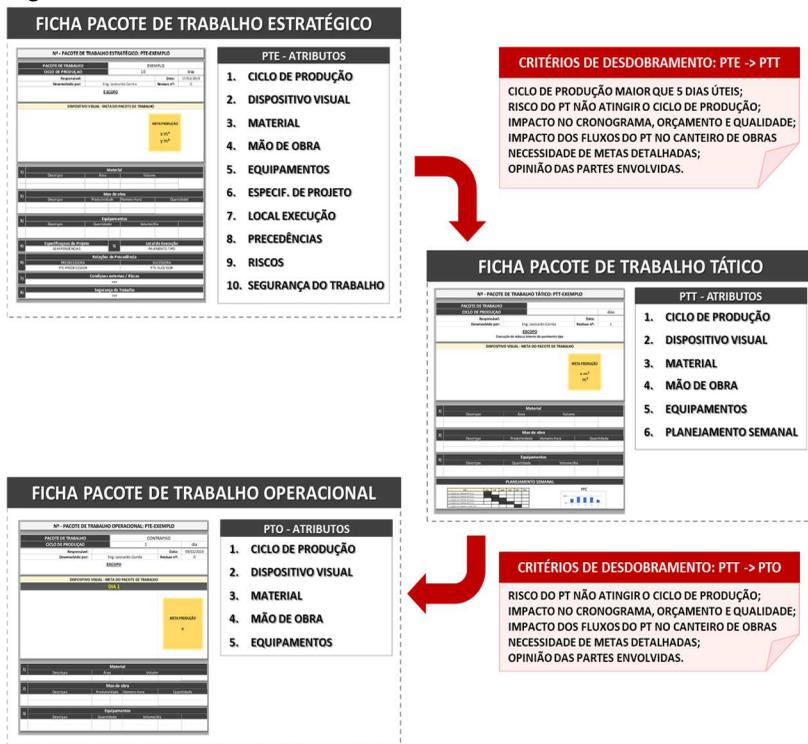
Dentre os passos de condução do método proposto, está contemplado o desdobramento do nível estratégico de planejamento para os níveis táticos e operacionais com o auxílio das fichas de PTT e PTO. Para tal, foram escolhidos critérios de desdobramento e diferentes atributos para cada ficha de PT, conforme a necessidade de informação identificada (Figura 27). Para o desdobramento das fichas de PTE para PTT foram identificados os seguintes critérios: (i) ciclo de produção maior que 5 dias úteis; (ii) risco do PT não atingir o ciclo de produção; (iii) impacto no cronograma, orçamento e qualidade; (iv) impacto dos fluxos do PT no canteiro de obras; (v) necessidade de metas detalhadas; e, (vi) opinião das partes envolvidas. As informações e atributos contidos nas fichas de PTT contemplam as informações gerais como nome do PTT, (1) ciclo de produção, responsável pela execução e pelo desenvolvimento, data e número da última revisão e escopo. O (2) dispositivo visual da meta do PTT com o uso do modelo BIM 4D, o quantitativo dos (3) materiais necessários retirados do modelo e desdobrados do PTE, a (4) mão de obra necessária calculada com o uso da produtividade fornecida pela empresa, os (5) equipamentos para movimentação dos recursos da área de estoque até o local de aplicação, (6) cronograma de planejamento semanal.

Figura 26 – Ficha PTE genérica.

Nº - PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-EXEMPLO			
PACOTE DE TRABALHO		EXEMPLO	
CICLO DE PRODUÇÃO		10	dias
Responsável:		Data:	17/02/2019
Desenvolvido por:	Eng. Leonardo Corrêa	Revisão nº:	0
ESCOPO			
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>META PRODUÇÃO</p> <p>x m²</p> <p>y m³</p> </div>			
Material			
1)	Descrição	Área	Volume
Mão de obra			
2)	Descrição	Produtividade	Homens-hora
			Quantidade
Equipamentos			
3)	Descrição	Quantidade	Volume/dia
4)	Especificações de Projeto	5)	Local de Execução
	SEM PENDÊNCIAS		PAVIMENTO TIPO
Relações de Precedência			
6)	PREDECESSORA	SUCESSORA	
	PTE-PREDECESSOR	PTE-SUCESSOR	
Condições externas / Riscos			
7)	xxx		
Segurança do Trabalho			
8)	yyy		

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 27 – Atributos das fichas de PT e critérios de desdobramento



Fonte: elaborado pelo autor.

Para o desdobramento das fichas de PTT para PTO foram identificados os seguintes critérios: (i) risco do PT não atingir o ciclo de produção; (ii) impacto no cronograma, orçamento e qualidade; (iii) impacto dos fluxos do PT no canteiro de obras; (iv) necessidade de metas detalhadas; e, (v) opinião das partes envolvidas. As informações e atributos contidos nas fichas de PTO contemplam as informações gerais como nome do PTO, (1) ciclo de produção, responsável pela execução e pelo desenvolvimento, data e número da última revisão e escopo. O (2) dispositivo visual da meta do PTO com o uso do modelo BIM 4D, o quantitativo dos (3) materiais necessários retirados do modelo e desdobrados do PTT, a (4) mão de obra necessária calculada com o uso da produtividade fornecida pela empresa, os (5) equipamentos para movimentação dos recursos da área de estoque até o local de aplicação.

3.5 GUIA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Visando facilitar a aplicação do método proposto, como resultado da etapa exploratória, etapa de desenvolvimento e etapa de consolidação, desenvolveu-se um guia para a aplicação do método proposto (Figura 28), considerando os 5 passos conforme proposta final do método para formulação de PT para obras repetitivas com uso do BIM 4D apresentada na etapa de consolidação da pesquisa.

Figura 28 – Guia de aplicação do método proposto

GUIA DE APLICAÇÃO		DESCRIÇÃO	OBJETIVO	ENVOLVIDOS	FASE DE DESENVOLVIMENTO	LOCAL DE APLICAÇÃO	FORMA DE DESENVOLVIMENTO	ESTIMATIVA DE TEMPO	PONTOS DE ATENÇÃO
PASSO 1	Modelo BIM 4D	Desenvolvimento do modelo BIM 4D para as disciplinas de projeto da unidade de repetição considerando os possíveis pacotes de trabalho e seus níveis de controle	Possibilitar o gerenciamento com o uso do BIM na unidade de repetição	Pesquisador, equipe de projeto, equipe de engenharia e equipe de obra	No início do processo	O desenvolvimento no escritório do pesquisador e a validação no canteiro de obras com os intervenientes	Com o recebimento das informações de projeto e planejamento da obra; Uso de <i>software</i> de modelagem e planejamento; Reuniões de alinhamento e validação	Duração média de dois meses	Validação do Modelo com a equipe de obra e atualização durante a obra
PASSO 2	Pacotes de Trabalho Estratégicos	Formulação dos PTE; Elaboração da LdB; Elaboração das Fichas de PTE	Fornecer ferramenta de gerenciamento dos PT em nível estratégico	Pesquisador, equipe de engenharia e equipe de obra	Após o término do modelo BIM 4D	O desenvolvimento no escritório do pesquisador e a validação no canteiro de obras com os intervenientes	Após validação da sequência executiva, definição da unidade de repetição e estratégias de produção, formular os PTE, formular/revisar a LdB e formular as fichas de PTE.	Duração média de duas semanas	Impacto do fluxo de recursos na formulação dos PTE
PASSO 3	Pacotes de Trabalho Táticos	Escolha dos PTEs para desdobramento; Formulação da estratégia de desdobramento; Elaboração das fichas PTT	Facilitar o planejamento no nível semanal com o desenvolvimento de metas semanais	Pesquisador, equipe de engenharia e equipe de obra	Após o desenvolvimento do PTE para os PT em um horizonte de até 6 meses de execução e posteriormente para os seguintes	O desenvolvimento no escritório do pesquisador e a validação no canteiro de obras com os intervenientes	Realizar a análise de cada PTE em reunião com os envolvidos para identificar a necessidade de desdobramento segundo os critérios e prosseguir com o desdobramento segundo os atributos do PTT	Duração média de dois dias por PTT	Balanceamento das metas de produção no desdobramento
PASSO 4	Pacotes de Trabalho Operacionais	Escolha dos PTT para desdobramento; Formulação da estratégia de desdobramento; Elaboração das fichas PTO	Estabilizar o ciclo de produção dos PT e facilitar o planejamento no nível diário ou menos	Pesquisador, equipe de engenharia e equipe de obra	Durante a fase de viabilidade para estudo de tecnologias ou processos; Dois meses do início do PT.	O desenvolvimento no escritório do pesquisador e a validação no canteiro de obras com os intervenientes	Realizar a análise de cada PTT em reunião com os envolvidos para identificar a necessidade de desdobramento segundo os critérios e prosseguir com o desdobramento segundo os atributos do PTO	Duração média de três dias para formular cinco PTO	Desdobrar e validar cada PTO com a equipe de obra que irá executar o PTO
PASSO 5	Projeto e Operacionalização	Integração das fichas de PT ao Projeto do Sistema de Produção e ao Projeto do Sistema de Operação do empreendimento	Facilitar o uso das fichas de PT pelas partes envolvidas	Pesquisador, equipe de engenharia e equipe de obra	Durante a duração do empreendimento	No escritório de obra e no canteiro de obra	Apresentação das fichas de PT para as partes envolvidas; Disponibilização de versões digitais para visualização em computadores, tablets e celulares; Disponibilização de vias físicas no escritório de obras e no canteiro de obras	Durante a duração do empreendimento	Identificar os instantes de desdobramento dos PTT e PTO; Manter os PT atualizados com o ciclo PDCA

Fonte: elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS

4.1 ETAPA EXPLORATÓRIA

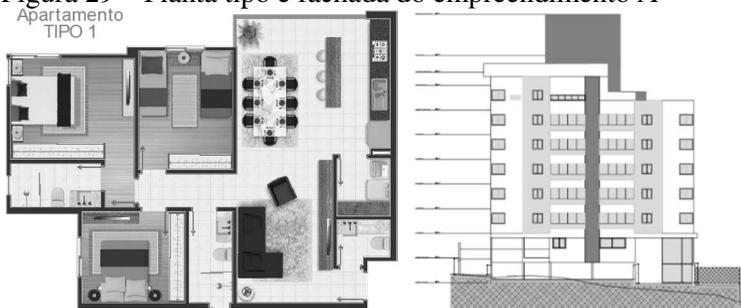
Esta etapa compreende: (i) Elaboração do Modelo BIM 4D para o Estudo Empírico 1; (ii) Formulação dos Pacotes de Trabalho e LdB para o Estudo Empírico 1.

4.1.1 Elaboração do Modelo BIM 4D para o Estudo Empírico 1

O objeto de estudo do estudo empírico 1 será chamado de empreendimento “A” (Figura 29) ao longo do texto, a fim de resguardar a identidade do mesmo. Trata-se de um edifício residencial de 9 pavimentos, sendo 5 pavimentos tipo com 4 apartamentos de 95 m² cada (2 quartos + 1 suíte), 1 pavimento com 2 coberturas e os demais pavimentos de área comum (*i. e.* espaço *gourmet*, piscina, hall de entrada) e garagens. Está localizado na cidade de Joinville/SC e possui 3.475 m² de área construída. O pesquisador escolheu este empreendimento para realizar o estudo exploratório devido ao fato de a empresa construtora permitir acesso total aos dados, projetos e obra a fim de que a pesquisa fosse realizada facilitando a obtenção de informações e possibilitando maior flexibilidade em relação a prazo e resultados no decorrer do estudo. O estudo foi iniciado em dezembro de 2017 e finalizado em abril de 2018 com a apresentação em uma reunião expositiva com o uso de recurso visual para o engenheiro de obra, mestre de obra e dois encarregados dos pacotes de trabalho e da linha de balanceamento desenvolvidos durante o estudo.

A etapa de acompanhamento e controle do desempenho do planejamento elaborado por esta pesquisa não foi possível de ser realizado, pelo fato da construtora ter reduzido o ritmo de produção das atividades por motivos externos à obra.

Figura 29 – Planta tipo e fachada do empreendimento A

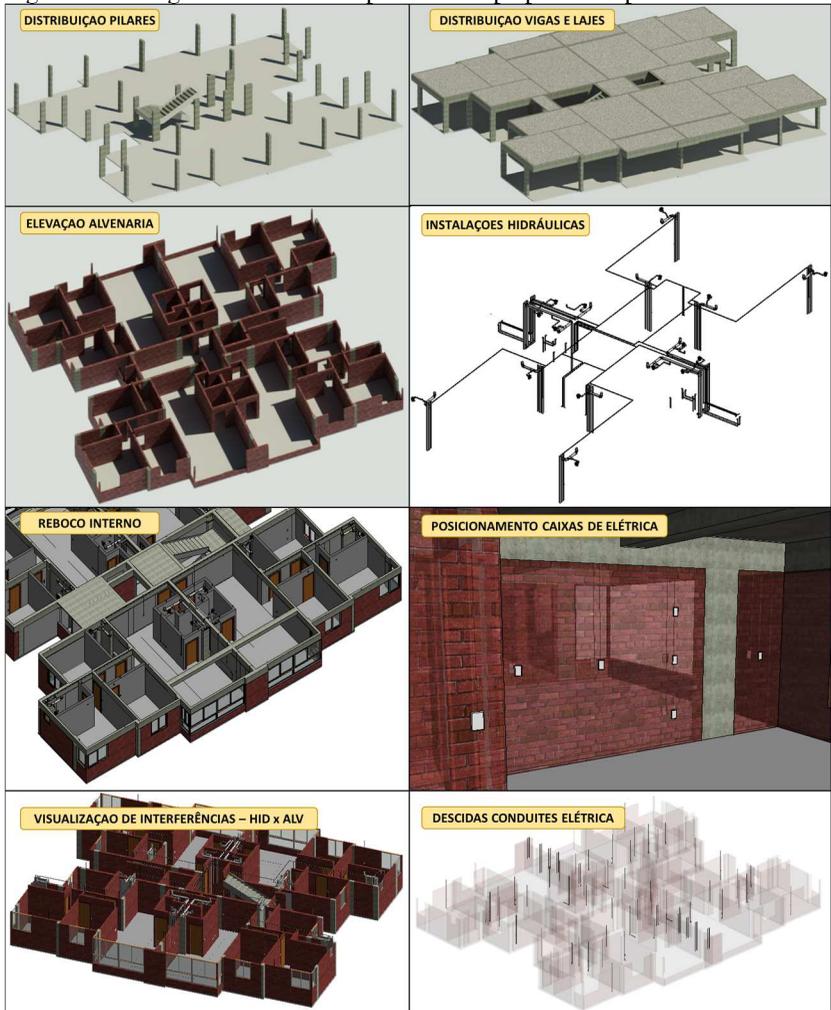


Fonte: fornecido pela construtora A

Outra variável que influenciou nesta escolha, foi o fato de ser um edifício residencial de médio padrão, com elementos construtivos e sistemas mais simples se comparados aos de um edifício comercial, por exemplo. Na Figura 30 estão apresentadas capturas de tela do *Revit* do modelo desenvolvido do pavimento tipo para o empreendimento A.

Os projetos foram entregues pela construtora para o pesquisador em DWG e todos os projetos estavam em 2D. A Tabela 2 apresenta as disciplinas modeladas com seu respectivo tempo de modelagem para o pavimento tipo. O tempo total para finalizar a modelagem inicial do pavimento tipo foi de 29 horas e 35 minutos. Deve-se considerar que esta primeira modelagem também fez parte do aprendizado do pesquisador no uso do software.

Figura 30 – Imagens do modelo do pavimento tipo para o empreendimento A.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Disciplinas modeladas e tempo de modelagem

Disciplina (Sistema)	Tempo de Modelagem
Estrutura de Concreto	5 horas
Alvenaria de Vedação	7 horas
Elétrica	2 horas
Hidráulica, Esgoto	4 horas
Infra Split	1 hora
Infra Gás	30 minutos
Janelas	1,5 hora
Portas	45 minutos
Reboco interno	6 horas
Contrapiso	20 minutos
Revestimento Cerâmico	2 horas
Pintura	1,5 hora

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2 Formulação dos Pacotes de Trabalho e LdB para o Estudo Empírico 1

Após o desenvolvimento do modelo para todas as disciplinas que compõem a execução do pavimento tipo, deve-se criar os grupos de elementos no modelo de acordo com os Pacotes de Trabalho Estratégicos (PTE). Para este processo foram seguidas as etapas apresentadas no Quadro 1 em reunião com a equipe de engenharia da obra.

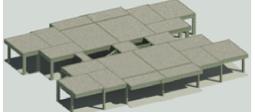
Visando sintetizar e apresentar o resultado desse processo, foram geradas as fichas de PTE para a (1) Estrutura de Concreto (Figura 31) e para a (2) Alvenaria de Vedação (Figura 32). Além destes dois PTE, foram formulados mais 21 PTE para compor a LdB do empreendimento (Figura 30), são eles: (3) Infra de Parede Elétrica; (4) Infra de Parede Hidráulica; (5) Infra de Teto/Piso Hidráulica; (6) Infra Splits + Contramarcos; (7) Reboco Interno; (8) Shafts Pré-moldados + Infra de Gás; (9) Contrapiso + Tratamento Acústico + Impermeabilização; (10) Revestimento Cerâmico e Porcelanato em AF + Soleiras e Pingadeiras; (11) Massa niveladora (teto); (12) Enfição; (13) Forro de gesso; (14) Massa corrida (paredes); (15) Esquadrias + Vidros Sacadas; (16) Pintura (teto e parede) 1ª demão; (17) Kit porta pronta + rodapés; (18) Louças e Metais + Acabamentos elétricos; (19) Pintura (teto e parede) 2ª demão; (20) Limpeza grossa; (21) Limpeza fina. O PTE (1) tem ciclo de 15 dias úteis, do PTE (2) ao (11) o ciclo é de 10 dias úteis e do PTE (12) ao (21) o ciclo é de 5 dias úteis.

Quadro 1 – Etapas para o desenvolvimento da LdB e dos PTE.

Etapa	Descrição	Aplicação do BIM 4D
1	Apresentação do modelo do pavimento tipo	Demonstração de cada disciplina modelada
2	Discussão do conceito de LdB e da unidade de repetição, para em seguida definir a unidade repetição para o nível estratégico do planejamento. Para este caso foi escolhido o pavimento tipo	Discussão sobre possíveis alternativas de quebra do pavimento tipo em menores unidades de repetição (e. g. meio pavimento, um apartamento)
3	Sequenciamento das atividades que compõem a execução do pavimento tipo e análise das relações de precedência entre elas. Esta atividade pode ser realizada com <i>post-it</i> [®] ou outro dispositivo visual que auxilie na discussão	Análise de possíveis conflitos na execução de atividades, nos fluxos de trabalho e nos fluxos de recursos da unidade de repetição
4	Formulação dos PTE da LdB e desenvolvimento das fichas para cada pacote, com introdução dos quantitativos, ciclo de produção, produtividade das equipes, equipamentos, riscos etc.	Extração de quantitativos, análise de riscos, logística de abastecimento e execução.

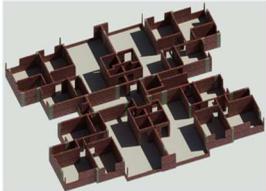
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 31 – Pacote de Trabalho no nível estratégico para Estrutura de Concreto.

PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-01					
PACOTE DE TRABALHO			ESTRUTURA DE CONCRETO		
CICLO DE PRODUÇÃO			15 dias		
CUSTO TOTAL			R\$		77.368,95
Responsável:		Roberto		Data: 26/03/18	
Desenvolvido por:		Eng. Leonardo Corrêa		Revisão nº: 0	
ESCOPO					
Execução da estrutura de concreto de um pavimento (PILAR/VIGA/LAJE), incluindo instalações embutidas					
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO					
<i>ETAPA 01 - Concreto Pilares e Escada</i>			<i>ETAPA 02 - Concreto Vigas e Laje</i>		
					
1)	Materials			R\$ 50.754,67	
				Custo Un.	Custo Total
	Concreto Pilares	8,62 m ³		R\$ 275,00	R\$ 2.370,50
	Concreto Escada	1,48 m ³		R\$ 275,00	R\$ 407,00
	Concreto Vigas	17,73 m ³		R\$ 275,00	R\$ 4.875,75
	Concreto Laje	33,22 m ³		R\$ 275,00	R\$ 9.135,50
	Aço CA-50/CA-60	5386,7 kg		R\$ 3,00	R\$ 16.160,10
	Forma de Pilar	131,15 m ²		R\$ 10,00	R\$ 1.311,50
	Forma de Viga	298,38 m ²		R\$ 10,00	R\$ 2.983,80
	Forma Escada	16,56 m ²		R\$ 10,00	R\$ 165,60
	Assoalho	332,18 m ²		R\$ 16,00	R\$ 5.314,88
	Barroteamento	996,54 mL		R\$ 2,00	R\$ 1.993,08
	Escoramento	452 escoras		R\$ 1,50	R\$ 677,96
	Outros (Trava pilar, viga, desmoldantes, espaçadores, sarrafo ...)			-	R\$ 2.500,00
	Elétrica embutida			-	R\$ 2.859,00
2)	Mão de obra			R\$ 26.400,00	
	Descrição	Produtividade	Homens-hora	Custo Un.	Custo Total
	4 Carpinteiro	0,48 Hh/m ²	374	R\$ 20,00	R\$ 9.600,00
	4 Armador	0,06 Hh/kg	323	R\$ 20,00	R\$ 9.600,00
	4 Ajudante	0,48 Hh/m ²	374	R\$ 15,00	R\$ 7.200,00
3)	Equipamentos			R\$ 214,29	
				Custo Un.	Custo Total
	Guincho de Coluna	15		R\$ 14,29	R\$ 214,29
4)	Especificações de Projeto		5)	Local de Execução	
	SEM PENDÊNCIAS			PAVIMENTO TIPO	
6)	Relações de Precedência				
	PREDECESSORA			SUCESSORA	
	LAJE MEZANINO			ELEVAÇÃO ALVENARIA	
7)	Condições externas / Riscos				
	Chuva forte, programação de concreto, segurança do trabalho				

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 32 – Pacote de Trabalho no nível estratégico para Elevação Alvenaria de Vedação.

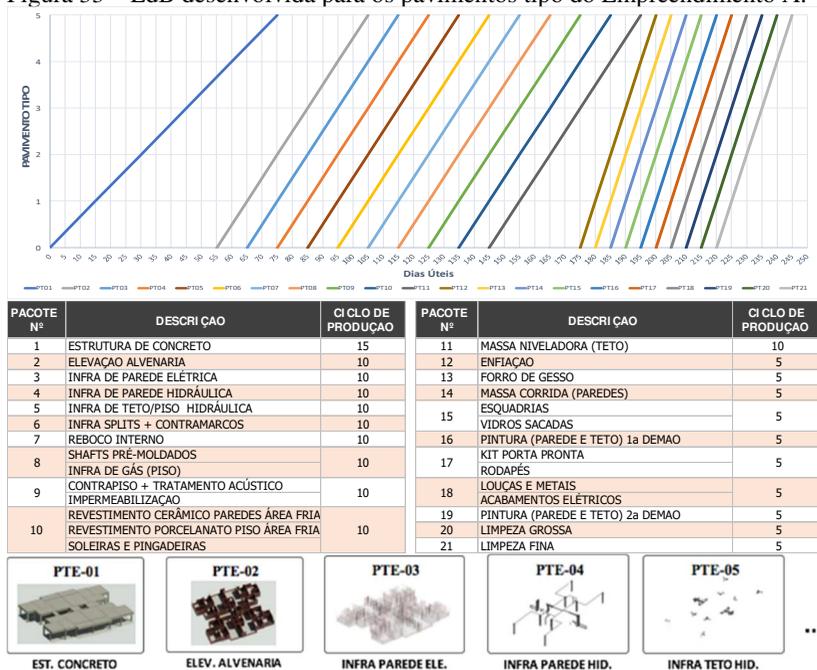
PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-02					
PACOTE DE TRABALHO		ELEVACÃO ALVENARIA DE VEDAÇÃO			
CICLO DE PRODUÇÃO		10 dias			
CUSTO TOTAL		R\$		26.200,87	
Responsável:	Edcarlos	Data:	26/03/2018		
Desenvolvido por:	Eng. Leonardo Corrêa	Revisão nº:	0		
ESCOPO					
Elevação de 100% da alvenaria do pavimento tipo					
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO					
					
1)	Materials			R\$	9.200,87
				Custo Un.	Custo Total
	Bloco de alvenaria 11,5x19x29	437,08 m ²		R\$ 9,07	R\$ 3.964,32
	Bloco de alvenaria 19x19x29	128,71 m ²		R\$ 15,08	R\$ 1.940,95
	Pilaretes, vergas e contra-vergas	0,72 m ³		R\$ 225,00	R\$ 162,00
	Argamassa para assentamento	10,42 m ³		R\$ 230,00	R\$ 2.396,03
	Tela metálica para amarração pilar/p	285 telas		R\$ 2,00	R\$ 570,00
	Argamassa AC3 para encontro pilar/p	23,94 m ²		R\$ 7,00	R\$ 167,58
2)	Mão de obra			R\$	17.000,00
	Descrição	Produtividade	Homens-hora	Custo Un.	Custo Total
4	Pedreiro	0,4 Hh/m ²	226,32	R\$ 30,00	R\$ 12.000,00
2	Ajudante	0,2 Hh/m ²	113,16	R\$ 25,00	R\$ 5.000,00
3)	Equipamentos			R\$	142,86
				Custo Un.	Custo Total
	Guincho de Coluna	10		R\$ 14,29	R\$ 142,86
4)	Especificações de Projeto		5)	Local de Execução	
	SEM PENDÊNCIAS			PAVIMENTO TIPO	
Relações de Precedência					
6)	PREDECESSORA			SUCESSORA	
	ESTRUTURA DE CONCRETO			INFRA ELÉTRICA PAREDES	
7)	Condições externas / Riscos				
	Logística para entrega dos blocos no pavimento				

Fonte: elaborado pelo autor.

Definido cada pacote de trabalho que compõe a linha de balanceamento, iniciou-se a elaboração do gráfico da Figura 33, a qual apresenta a LdB desenvolvida pelo pesquisador em conjunto da equipe de obra do Empreendimento “A” para os pavimentos tipo e os pacotes de trabalho com o seu respectivo ciclo de produção. O ciclo de produção do PTE01 – Estrutura de Concreto é de 15 dias úteis, o tipo de laje é maciça de 10 cm e parte das instalações de elétrica e hidráulica são embutidas na laje previamente a concretagem, impactando no aumento do ciclo de

produção de 10 dias para 15 dias. O *buffer* de 55 dias entre o início da Estrutura de Concreto e da Alvenaria de Vedação, corresponde ao tempo de cura e desforma da Estrutura de Concreto, esse intervalo no início é calculado considerando 20 dias úteis (28 dias corridos) entre a concretagem do teto da laje do 5º pavimento e o início da alvenaria no 5º pavimento. A maior parte dos PTE tem o ciclo de produção de 10 dias e na fase de acabamento os ciclos de produção são de 5 dias por pavimento tipo. A duração estimada pela LdB para execução dos 21 PTs nos 5 pavimentos tipo foi de 246 dias úteis, aproximadamente 12 meses de obra, que corrobora com prazo de 24 meses da construtora para executar a obra (fundação, áreas comuns, pavimentos tipo e coberturas).

Figura 33 – LdB desenvolvida para os pavimentos tipo do Empreendimento A.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 34 é apresentada a comparação entre o executado em obra e o modelo BIM 4D para o “PTE 08 – Infra gás + Shafts pré-moldados”. Com o desenvolvimento dos PTEs, foi observado que o “PTE 08” seria executado após a execução do “PTE 04 – Infra Parede Hidráulica”. O empreendimento “A” foi o primeiro da empresa a adotar

o *shaft* pré-moldado, portanto, o desenvolvimento da sequência executiva com o modelo BIM 4D auxiliou a empresa no estudo de viabilidade da adoção dessa tecnologia. Por consequência, foi realizado estudo em conjunto da equipe hidráulica para verificar a possibilidade de executar a infra de parede hidráulica de água fria e água quente nos banheiros sem o uso dos blocos cerâmicos, como eram realizados tradicionalmente. O resultado é apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Comparação entre o executado em obra e o modelo BIM 4D.

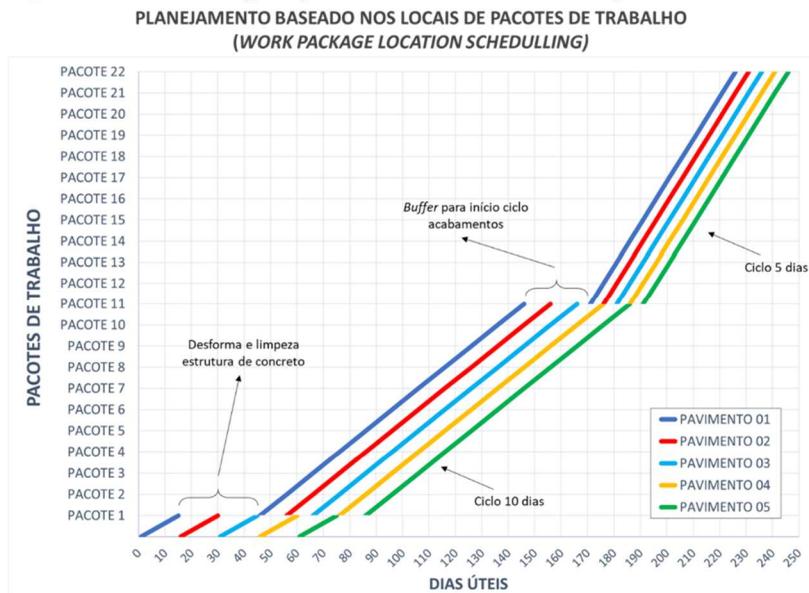


Fonte: elaborado pelo autor.

Como complementação à LdB, na análise do comportamento do sistema de produção dos pavimentos tipo em relação aos ciclos de produção dos PTEs, foi elaborado o gráfico do Planejamento Baseado em

Locais dos Pacotes de Trabalho (Figura 35). Este gráfico possibilita visualizar de modo global o comportamento do produto (pavimento tipo) em seus processos (PTE), com o objetivo de obter uma reta contínua sem interrupções ou alterações de inclinação para cada pavimento tipo, deste modo, a produção poderá ocorrer continuamente. Analisando o comportamento do pavimento 01 em azul, o primeiro ciclo de produção corresponde ao “PTE 01 – Estrutura de Concreto”, com 15 dias de duração. Após o seu término, inicia-se a fase de cura, desforma e limpeza da estrutura de concreto, portanto a inclinação da curva é diminuída. Em seguida, os PTEs de ciclo de produção de 10 dias, mantendo a inclinação da curva constante é o momento de início dos acabamentos. Neste instante, o pavimento 01 tem maior tempo de espera, ou ociosidade, se comparado ao pavimento 05, pois este tempo deve ser definido pela análise da última unidade de repetição. Em seguida, a curva continua com inclinação constante do relacionada com o ciclo de produção de 5 dias para os PTEs de acabamentos.

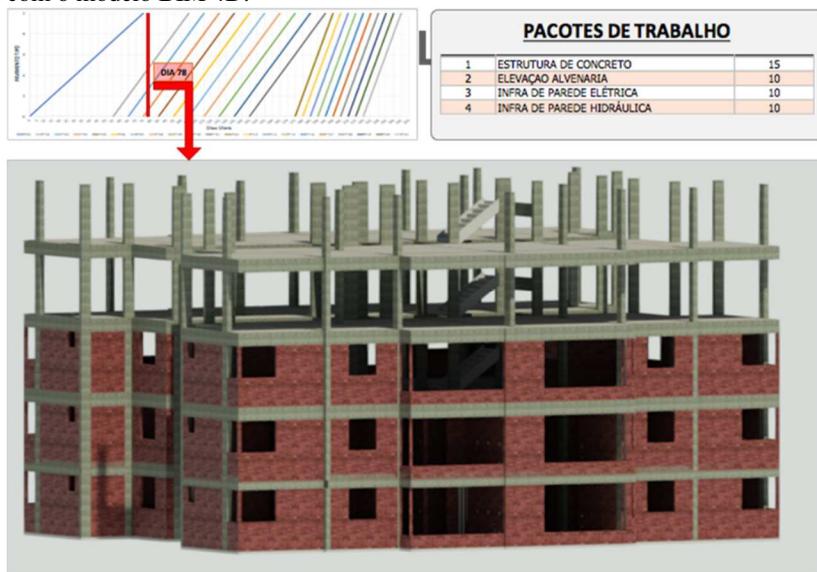
Figura 35 – Gráfico do planejamento baseado nos locais de pacotes de trabalho.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para auxiliar na visualização da linha de balanceamento, com a sobreposição dos pavimentos tipo, pode-se gerar modelos que correspondam a determinado instante da obra (Figura 36).

Figura 36 – Representação de determinado instante da linha de balanceamento com o modelo BIM 4D.

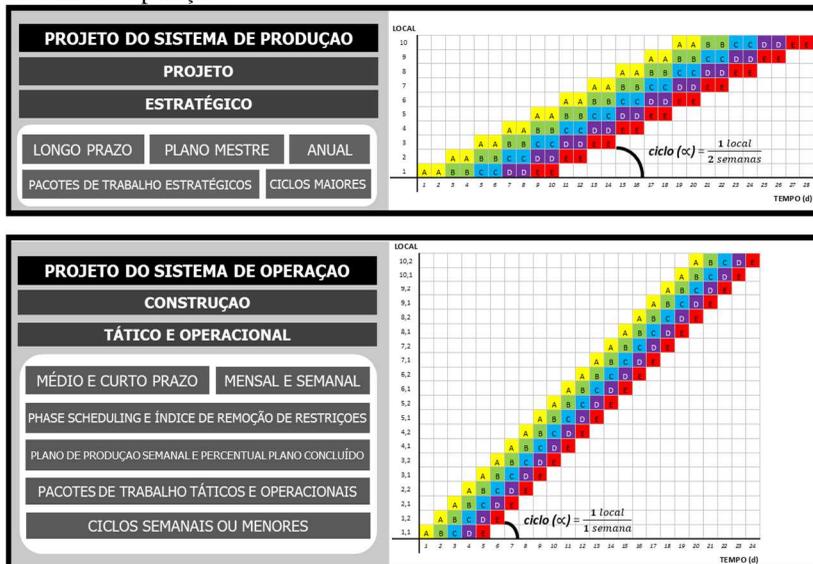


Fonte: elaborado pelo autor.

O desenvolvimento dos PTEs está englobado dentro do Projeto do Sistema de Produção (PSP) que é relacionado a fase de projeto do empreendimento, ao nível estratégico com o horizonte de planejamento de longo prazo (*i. e.* anual), onde se define suas estratégias de produção. Em seguida, o Projeto do Sistema de Operação (PSO) pode ser desenvolvido um pouco antes do início da obra para os primeiros pacotes de trabalho e é iterativo e contínuo (Figura 37). Consiste em decompor os pacotes de trabalho do nível estratégico (PTE) para o nível tático (PTT) e nível operacional (PTO). Este desenvolvimento, idealmente, deve ser realizado em conjunto com os responsáveis pela execução das atividades (*i. e.* engenharia, mestre e encarregados). São pacotes de trabalho de médio e curto prazo, possibilitando nível de controle semanal e a implementação de indicadores como o Percentual do Plano Concluído (PPC) e a elaboração de Planos de Produção Semanal (PPS). Devido ao desdobramento destes pacotes de trabalho, o PSO é composto por mais

pacotes se comparado ao PSP e os locais de execução podem ser mais restritos (e. g. apartamentos, metade de um pavimento tipo).

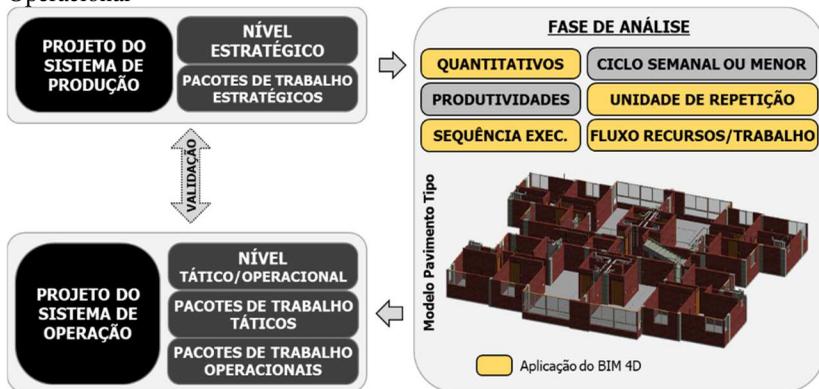
Figura 37 – Relação entre o Projeto do Sistema de Produção e o Projeto do Sistema de Operação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Deste modo, inicia-se a análise de cada PTE para identificar quais necessitam de maior detalhamento para aprimorar seu planejamento (Figura 38). Para isto, analisa-se em cada PTE os quantitativos, a unidade de repetição, o ciclo de produção, o fluxo de trabalho e de recursos (materiais, mão de obra e equipamentos), as produtividades adotadas e o risco não atingir o ciclo de produção estabelecido e seu impacto no planejamento da obra. Nas fichas PTE estão inseridas informações do modelo BIM 4D de cada PT, como quantitativos e dispositivo visual da meta de execução do PT. Todavia, o modelo pode ser utilizado nesta fase em conjunto com a equipe de obra para decomposição do PT em metas semanais ou diárias, com a secção da unidade de repetição escolhida, análise das alternativas de decomposição com a estimativa de quantitativos do modelo, simulação dos possíveis fluxos de recurso e trabalho no modelo durante a execução do PT.

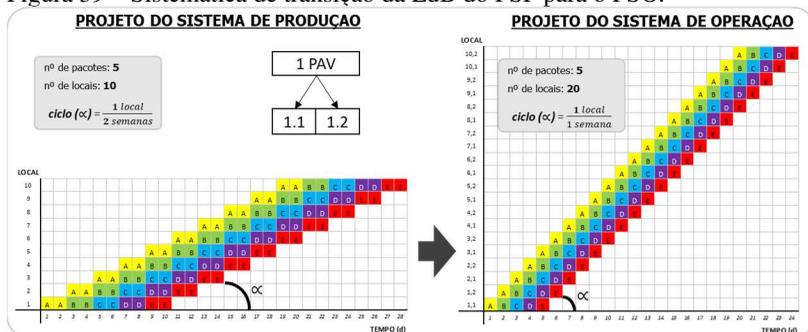
Figura 38 – Sistemática de transição de PT do Nível Estratégico para Tático e Operacional



Fonte: elaborado pelo autor

Caso a unidade de repetição seja alterada no PSO, pode ser desenvolvida uma nova LdB (Figura 39), mais detalhada se comparada ao do PSP, já que se está assumindo como “local” partes do pavimento tipo e não todo o pavimento tipo. Esta estratégia antecipa o prazo de obra devido à antecipação do início dos PT nas unidades de repetição e pode ser adotada parcialmente durante o planejamento (e. g. no detalhamento de um grupo de PT). No estudo empírico 1 foi optado por, no desdobramento dos PT, manter a unidade de repetição como o pavimento tipo.

Figura 39 – Sistemática de transição da LdB do PSP para o PSO.



Fonte: elaborado pelo autor

Com a equipe de obra, foi escolhido o “PTE – Elevação de Alvenaria de Vedação” para o desenvolvimento dos Pacotes de Trabalho

Táticos (PTT) e Pacotes de Trabalho Operacionais (PTO). Nas fichas do PTT, além das informações contidas na ficha PTE, devem ser inseridas as informações do plano de produção semanal (PPS) (*i. e. o* gráfico de barras do planejamento das atividades que serão executadas na semana) e do indicador do percentual do plano concluído (PPC). O desdobramento do PTE em PTT é apresentado na Figura 41a e Figura 41b, considerando o horizonte semanal de controle. Com isto, foram desenvolvidos dois PTT. O primeiro PTT considera o fechamento da alvenaria periférica para aumentar a segurança no pavimento e a elevação das paredes dos quartos e banheiros de um apartamento, visando balancear a metragem quadrada de elevação entre cada PTT.

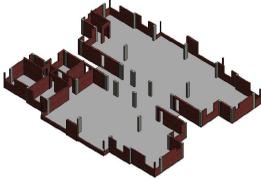
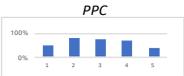
Com o uso do modelo BIM 4D foi possível, em conjunto da equipe de obra, estudar quais paredes deveriam ser elevadas no primeiro PTT, com a obtenção dos quantitativos (Figura 40) para poder balancear os dois PT desdobrados e com a análise dos fluxos de trabalho, recursos e espaços de trabalho por meio da visão espacial do modelo e da meta semanal de execução pelas equipes. Foi optado por não empregar outro software (*e. g. NavisWork*) para esta etapa, pelo *Revit* possibilitar sua realização. Para isso, foi inserido em cada elemento nas propriedades de “comentário”, o PT do qual ele pertence (Figura 44). Assim, a obtenção dos quantitativos por PT pode ser feita diretamente no *Revit*.

Figura 40 – Captura de tela da obtenção de quantitativos de cada PT no *Revit*.

<Tabela de parede>			
A	B	C	D
Família	Tipo	Área	Comentários
Parede básica	Shaft Pré-moldado	31.02 m²	
		238.66 m²	ALVENARIA - PACOTE 1
		327.13 m²	ALVENARIA - PACOTE 2
Total geral: 140		596.81 m²	

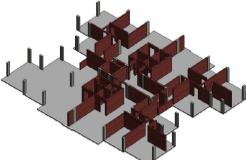
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 41a – PT Estratégicos desdobrados em PT Táticos – Elevação de Alvenaria.

PACOTE DE TRABALHO TÁTICO: PTT-01																																															
PACOTE DE TRABALHO			ELEVACÃO ALVENARIA PERIFÉRICA																																												
CICLO DE PRODUÇÃO			5																																												
CUSTO TOTAL			R\$ 12.528,68																																												
Responsável:		Edcarlos		Data: 26/03/18																																											
Desenvolvido por:		Eng. Leonardo Corrêa		Revisão n°: 0																																											
ESCOPO																																															
Execuções da argamassa em 28 pilares, colocação de 190 telas de amarração, marcação de 50% do pavimento, elevação da alvenaria periférica e de 40% de um apartamento																																															
DISPOSITIVO VISUAL - META DA SEMANA																																															
																																															
PLANEJAMENTO SEMANAL																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PPS</th> <th>SEG</th> <th>TER</th> <th>QUA</th> <th>QUI</th> <th>SEX</th> <th>PPC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARGAMASSA PILARES</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TELA DE AMARRAÇÃO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MARCAÇÃO ALVENARIA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVACÃO ALVENARIA PERIFÉRICA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVACÃO ALVENARIA APTD 03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	PPC	ARGAMASSA PILARES							TELA DE AMARRAÇÃO							MARCAÇÃO ALVENARIA							ELEVACÃO ALVENARIA PERIFÉRICA							ELEVACÃO ALVENARIA APTD 03								
PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	PPC																																									
ARGAMASSA PILARES																																															
TELA DE AMARRAÇÃO																																															
MARCAÇÃO ALVENARIA																																															
ELEVACÃO ALVENARIA PERIFÉRICA																																															
ELEVACÃO ALVENARIA APTD 03																																															
1) Materiais				R\$ 3.957,26																																											
				Custo Un.	Custo Total																																										
Bloco de alvenaria 11,5x19x29	204,22	m ²		R\$ 9,07	R\$ 1.852,28																																										
Bloco de alvenaria 19x19x29	34,44	m ²		R\$ 15,08	R\$ 519,36																																										
Pilaretes, vergas e contra-vergas	0,72	m ³		R\$ 225,00	R\$ 162,00																																										
Argamassa para assentamento	4,10	m ³		R\$ 230,00	R\$ 942,20																																										
Tela metálica para amarração pilar/parede	190	telas		R\$ 2,00	R\$ 380,00																																										
Argamassa AC3 para encontro pilar/parede	14,49	m ²		R\$ 7,00	R\$ 101,43																																										
2) Mão de obra				R\$ 8.500,00																																											
	Descrição	Produtividade	Homens-hora	Custo Un.	Custo Total																																										
4	Pedreiro	0,45 Hh/m ²	107,40	R\$ 30,00	R\$ 6.000,00																																										
2	Ajudante	0,2 Hh/m ²	47,73	R\$ 25,00	R\$ 2.500,00																																										
3) Equipamentos				R\$ 71,43																																											
				Custo Un.	Custo Total																																										
	Guincho de Coluna	5		R\$ 14,29	R\$ 71,43																																										
4) Especificações de Projeto			5) Local de Execução																																												
SEM PENDÊNCIAS			PAVIMENTO TIPO																																												
Relações de Precedência																																															
6) PREDECESSORA			SUCESSORA																																												
ESTRUTURA DE CONCRETO			ALVENARIA INTERNA																																												
7) Condições externas / Riscos																																															
Logística para entrega dos blocos no pavimento																																															

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 42b – PT Estratégicos desdobrados em PT Táticos – Elevação de Alvenaria.

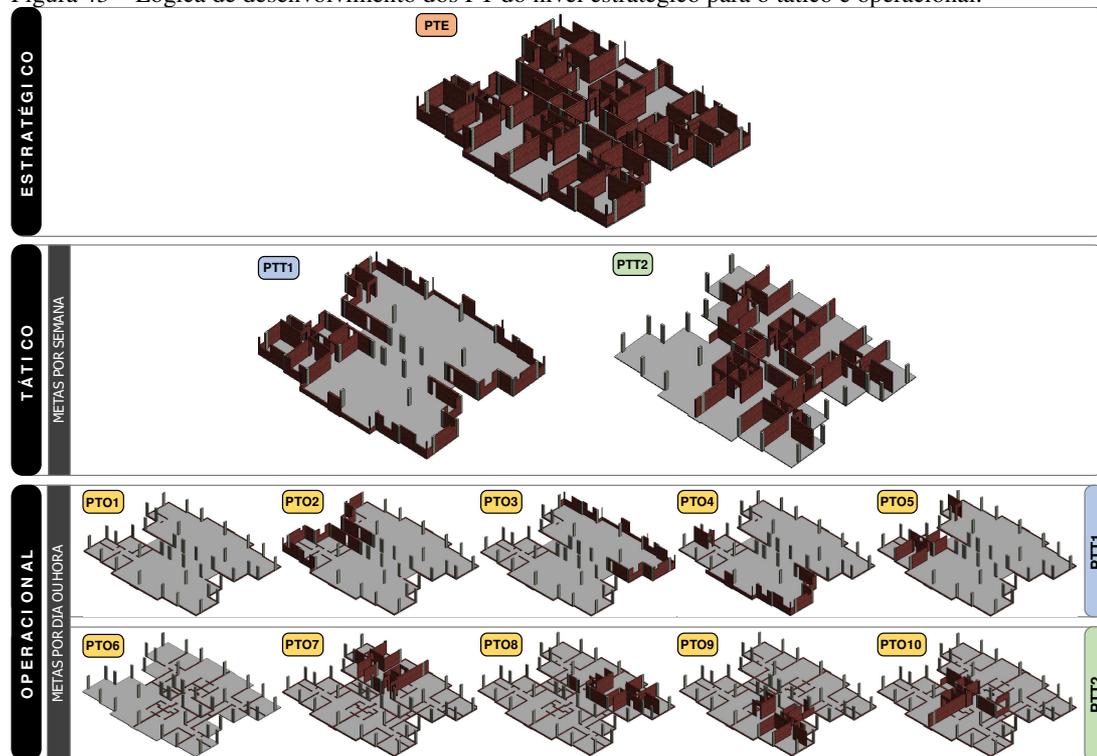
PACOTE DE TRABALHO TÁTICO: PTT-02																																															
PACOTE DE TRABALHO			ELEVAÇÃO ALVENARIA INTERNA																																												
CICLO DE PRODUÇÃO			5																																												
CUSTO TOTAL			R\$ 13.815,04																																												
Responsável:		Edcarlos		Data: 26/03/18																																											
Desenvolvido por:		Eng. Leonardo Corrêa		Revisão nº: 0																																											
ESCOPO																																															
Execução da argamassa em 15 pilares, colocação de 95 telas de amarração, marcação de 50% do pavimento, elevação da alvenaria interna do pavimento																																															
DISPOSITIVO VISUAL - META DA SEMANA																																															
																																															
PLANEJAMENTO SEMANAL																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PPS</th> <th>SEG</th> <th>TER</th> <th>QUA</th> <th>QUI</th> <th>SEX</th> <th>PPC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 04</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 02</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 01</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELEVAÇÃO ALVENARIA CORREDOR</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	PPC	ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 03							ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 04							ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 02							ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 01							ELEVAÇÃO ALVENARIA CORREDOR							<p style="text-align: center;">PPC</p> 	
PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	PPC																																									
ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 03																																															
ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 04																																															
ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 02																																															
ELEVAÇÃO ALVENARIA ARTO 01																																															
ELEVAÇÃO ALVENARIA CORREDOR																																															
1) Materiais			R\$ 5.243,61																																												
			Custo Un.	Custo Total																																											
Bloco de alvenaria 11,5x19x29			232,86 m ²	R\$ 9,07	R\$ 2.112,04																																										
Bloco de alvenaria 19x19x29			94,27 m ²	R\$ 15,08	R\$ 1.421,59																																										
Argamassa para assentamento			6,32 m ³	R\$ 230,00	R\$ 1.453,83																																										
Tela metálica para amarração pilar/parede			95 telas	R\$ 2,00	R\$ 190,00																																										
Argamassa AC3 para encontro pilar/parede			9,45 m ²	R\$ 7,00	R\$ 66,15																																										
2) Mão de obra			R\$ 8.500,00																																												
Descrição			Produtividade	Homens-hora	Custo Un. / Custo Total																																										
4	Pedreiro		0,4 Hh/m ²	130,85	R\$ 30,00 / R\$ 6.000,00																																										
2	Ajudante		0,2 Hh/m ²	65,43	R\$ 25,00 / R\$ 2.500,00																																										
3) Equipamentos			R\$ 71,43																																												
			Custo Un.	Custo Total																																											
Guincho de Coluna			5	R\$ 14,29	R\$ 71,43																																										
4) Especificações de Projeto			Local de Execução																																												
SEM PENDÊNCIAS			5)	PAVIMENTO TIPO																																											
Relações de Precedência																																															
6) PREDECESSORA			SUCESSORA																																												
ESTRUTURA DE CONCRETO			INFRA ELÉTRICA PAREDES																																												
7) Condições externas / Riscos																																															
Logística para entrega dos blocos no pavimento																																															

Fonte: elaborado pelo autor.

O mesmo processo foi utilizado para o desenvolvimento dos PTO. Inicialmente, o modelo estabelecido para o PTT1 foi discutido e desdobrado em metas diárias de produção, gerando os PTO1 ao PTO5. Do mesmo modo, o PTT2 foi desdobrado do PTO6 ao PTO10.

A Figura 42 apresenta a lógica de desenvolvimento dos PT do nível estratégico para o tático e operacional, exemplificado com o “PT – Elevação de Alvenaria de Vedação”.

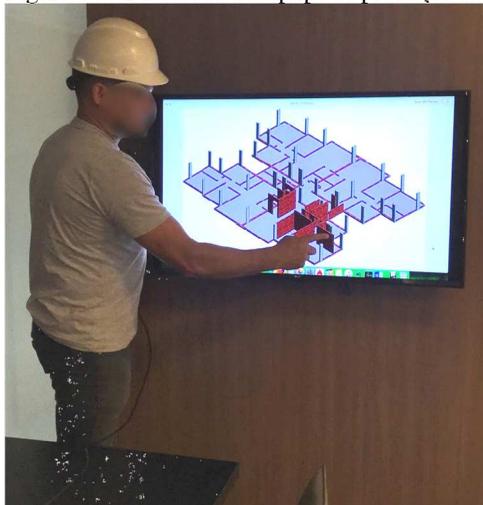
Figura 43 – Lógica de desenvolvimento dos PT do nível estratégico para o tático e operacional.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na fase de desenvolvimento dos PTO, além do engenheiro e do mestre de obra, os pedreiros encarregados pela execução participaram da reunião para definir as metas diárias. Este processo melhora o comprometimento da equipe de produção com o plano de produção semanal. A Figura 43 demonstra o mestre de obras na discussão da execução de uma parede do PTO9 com a equipe de produção através do modelo desenvolvido na presente pesquisa.

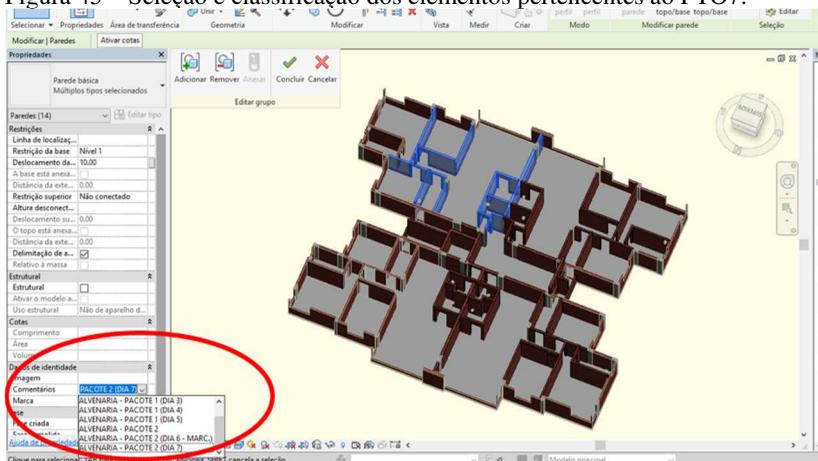
Figura 44 – Discussão da equipe de produção sobre elevação de paredes do PTO9.



Fonte: elaborado pelo autor.

Esta forma de apresentação do planejamento possibilitou a visualização do fluxo de trabalho e do fluxo de recursos para as metas de produção diária estabelecidas. Nesta etapa também foi feito o levantamento de quantitativos com o *Revit* para balancear as metas diárias. Em cada elemento do PT foi inserido o qual ele pertence no item “comentários” (Figura 44).

Figura 45 – Seleção e classificação dos elementos pertencentes ao PTO7.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 45 é apresentada a tabela gerada pelo *Revit* para obtenção de quantitativos para cada PTO. O PTO1 (dia 1) e o PTO6 (dia 6) tem menos m² por serem executados nestes PT a marcação da alvenaria e a colocação das telas metálicas de amarração. No PTO2, PTO3, PTO4 e PTO5, estão contempladas a elevação da alvenaria periférica com a concretagem das contravergas das janelas, estes dois fatores segundo a equipe de produção, fazem com que a produtividade diária seja pior. Portanto, a meta diária estabelecida para estes 4 PT foi na média de 56,40 m². Para os PTO7, PTO8, PTO9 e PTO10 a média da meta de produção diária foi 78,78 m², pois esses PT contemplam a elevação da alvenaria interna dos pavimentos, que tem menor risco de execução se compara a alvenaria periférica, tem menos vãos, paredes maiores e a maior parte das paredes utiliza tijolos menos espessos.

Figura 46 – Tabela gerada pelo *Revit* para obtenção de quantitativos para cada PTO.

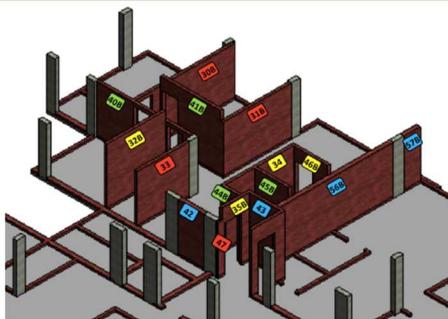
Modificar tabela/quantidades			
Propriedades			
<Tabela de parede>			
A	B	C	D
Família	Tipo	Área	Comentários
		12,79 m²	ALVENARIA - PACOTE 1 (DIA 1 - MARC.)
		64,77 m²	ALVENARIA - PACOTE 1 (DIA 2)
		56,76 m²	ALVENARIA - PACOTE 1 (DIA 3)
		53,78 m²	ALVENARIA - PACOTE 1 (DIA 4)
Parede básica	Genérico - 120 mm	50,27 m²	ALVENARIA - PACOTE 1 (DIA 5)
		13,26 m²	ALVENARIA - PACOTE 2 (DIA 6 - MARC.)
		76,02 m²	ALVENARIA - PACOTE 2 (DIA 7)
		82,14 m²	ALVENARIA - PACOTE 2 (DIA 8)
Parede básica	Genérico - 120 mm	80,58 m²	ALVENARIA - PACOTE 2 (DIA 9)
		76,39 m²	ALVENARIA - PACOTE 2 (DIA 10)
Total geral: 231		566,77 m²	

Fonte: elaborado pelo autor.

Definido os elementos que compõem os PTO, pode-se iniciar a elaboração das fichas PTO. A Figura 46 apresenta a ficha do PTO7. Esta ficha tem o objetivo de auxiliar na elaboração das ordens de produção, são inseridas as informações do ciclo de produção, da produtividade adotada, das equipes de produção as paredes atribuídas a cada equipe.

Figura 47 – Ficha “PTO 07 – Elevação Alvenaria Interna”.

PACOTE DE TRABALHO OPERACIONAL: PTO-07			
PACOTE DE TRABALHO		ELEVACAO ALVERNARIA INTERNA	
CICLO DE PRODUÇÃO		1 dia	
PRODUTIVIDADE ADOTADA		0,4 Hh/m²	
Responsável:	Edcarlos	Data:	26/03/18
Desenvolvido por:	Eng. Leonardo Corrêa	Rev. nº:	0
EQUIPE 1 Cuto e André		EQUIPE 2 Valdecir e André	
Parede	Área	Parede	Área
308	8,78	328	7,02
318	7,09	34	8,55
33	5,38	358	1,72
47	0,26	468	2,50
HH disponível	9,00	HH disponível	9,00
HH programado	9,68	HH programado	8,91
EQUIPE 3 Alemão e Julio		EQUIPE 4 Diniz e Julio	
Parede	Área	Parede	Área
568	13,04	408	6,88
578	1,69	418	5,88
42	2,64	448	1,27
43	2,07	458	4,16
HH disponível	9,00	HH disponível	9,00
HH programado	8,75	HH programado	8,19



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 47 demonstra a execução do “PPT1 – Elevação Alvenaria Periférica” durante o empreendimento. A formulação dos PT possibilitou antecipar a definição dos locais de estocagem dos *pallets* de blocos cerâmicos, evitando possíveis interferências entre o fluxo de trabalho para elevação das paredes e a estocagem do material no pavimento.

Figura 48 – Comparação entre “PTT 02.1 – Elevação Alvenaria” e o executado em obra.

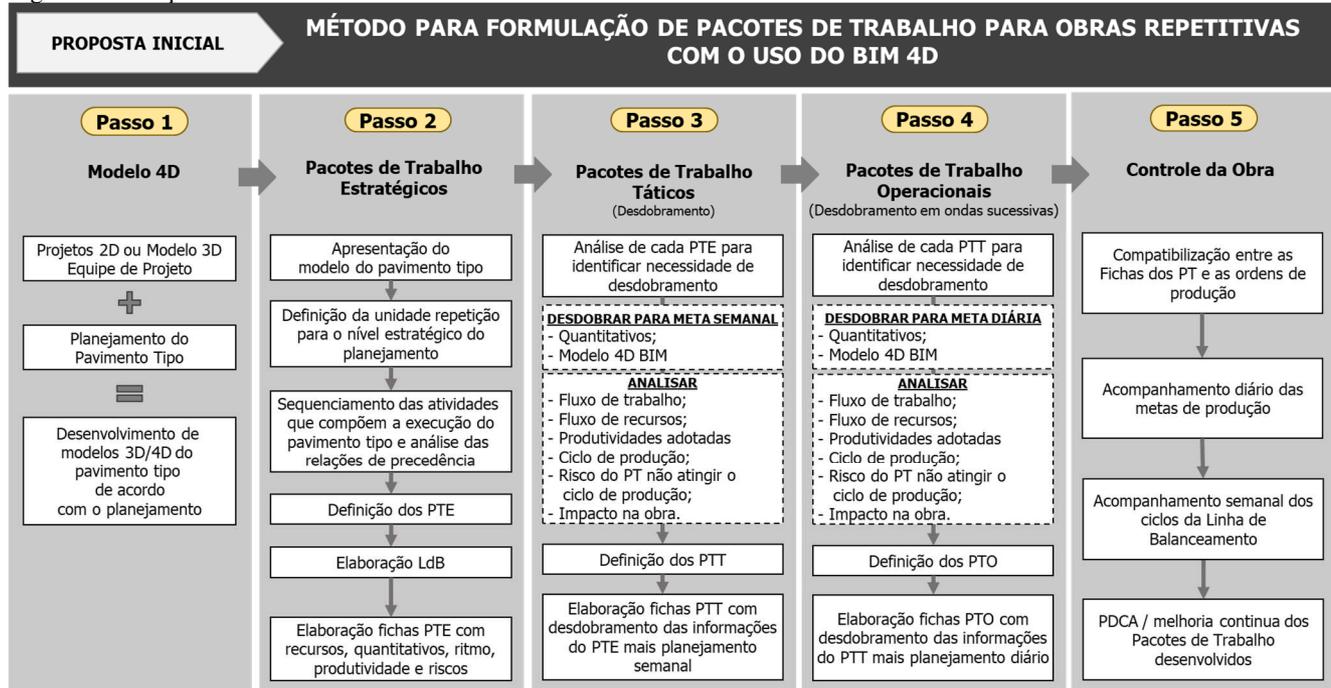


Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3 Proposta Inicial

A partir das análises do pesquisador durante o estudo empírico 1, pôde-se gerar uma proposta inicial (conforme nominado na Figura 25) quanto ao método de formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas, o qual é apresentado na Figura 48.

Figura 49 – Proposta inicial do método de desenvolvimento dos PT.



Fonte: elaborado pelo autor.

A proposta inicial do método foi dividida em 5 passos de desenvolvimento: (i) Modelo 4D; (ii) Pacotes de Trabalho Estratégicos; (iii) Pacotes de Trabalho Táticos; (iv) Pacotes de Trabalho Operacionais; e, (v) Controle da obra.

4.2 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

De acordo com a Figura 25, a próxima etapa é o desenvolvimento do método, que tem o objetivo de implementar a solução e avaliar o processo em ação para validar e aprimorar a proposta inicial desenvolvida na etapa exploratória, foi dividida em: (i) Estudo Empírico 2; e (ii) Estudo Empírico 3. Tanto o estudo empírico 2 quanto o estudo empírico 3 se deram no mesmo empreendimento, o qual será chamado ao longo do texto de empreendimento “B”, a fim resguardar a identidade da empresa. Trata-se de um edifício residencial de 18 pavimentos, sendo 13 pavimentos tipo com 8 apartamentos de em média 80 m² cada e os demais pavimentos de área comum (*i. e.* salão de festas, piscina, hall de entrada) e garagens. Está localizado na cidade de Florianópolis/SC.

O pesquisador escolheu este empreendimento para realizar a etapa de desenvolvimento devido à empresa responsável pela sua execução ter amadurecimento em gestão de obras, incluindo a utilização da linha de balanceamento e *last planner system* em seus empreendimentos, possibilitando maior desafio para identificação de oportunidades de melhoria com o método proposto.

4.2.1 Estudo Empírico 2

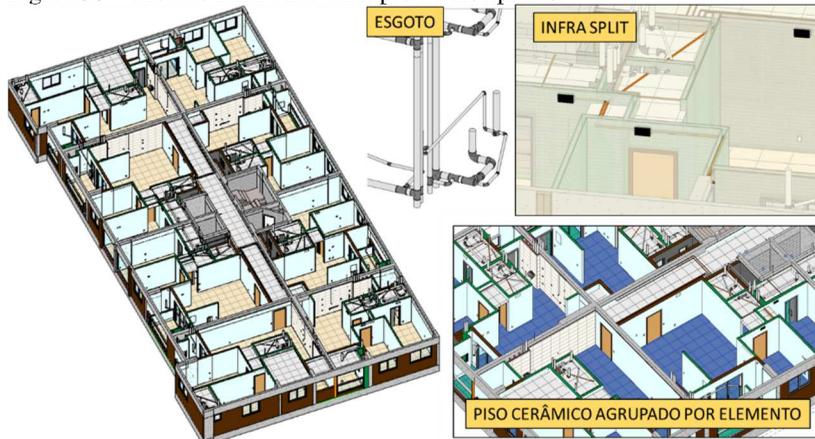
O estudo empírico 2 foi realizado por meio de 3 passos, os quais serão detalhados a seguir.

4.2.1.1 Passo 1 – Modelo 4D

O processo foi iniciado com o recebimento dos projetos das disciplinas em 2D enviados pela equipe de projeto, da linha de balanceamento pela equipe de engenharia e com uma reunião de balizamento das estratégias de produção adotadas para o empreendimento “B” com a equipe de engenharia. Após analisada a documentação, foram realizadas reuniões para sanar dúvidas relativas ao projeto e a sequência executiva adotada. Deste modo, foi iniciado o processo de desenvolvimento do modelo BIM 4D para as disciplinas de projeto do

pavimento tipo considerando os possíveis pacotes de trabalho na formação dos grupos de elementos no *Revit* (Figura 49).

Figura 50 – Modelo BIM 4D e exemplo de disciplinas.



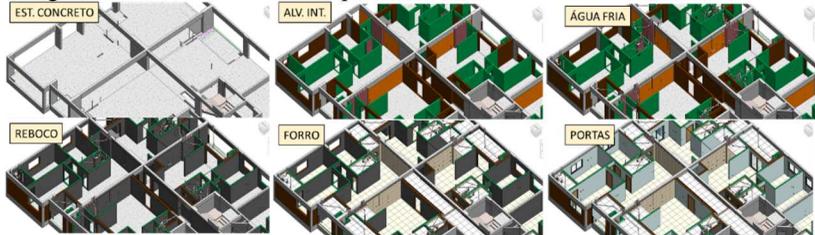
Fonte: elaborado pelo autor.

As disciplinas modeladas foram: estrutura de concreto, tubulações de gás, chapisco, alvenaria, reboco teto, tubulações de esgoto, tubulações e caixas de espera do ar condicionado, caixas de parede de elétrica e comunicação, tubulações de água fria, contrapiso, reboco de parede, impermeabilização, azulejo e piso cerâmico, forro de gesso, massa corrida, esquadrias, portas e louças. A definição das disciplinas serem modeladas foi realizada em conjunto com as equipes de projeto e de engenharia da empresa.

Após a finalização da primeira versão do modelo, foi realizada sua apresentação para equipe de projeto e foram identificadas algumas alterações e atualizações dos projetos 2D que ocorreram após o início da modelagem. Realizadas as alterações no modelo e validadas com a equipe de projeto, foi feita a apresentação do modelo para equipe de engenharia, o que se deu por meio da primeira proposta de sequência executiva da unidade de repetição, o pavimento tipo. Na Figura 50, são apresentados alguns exemplos dos pacotes de trabalho apresentados para análise da equipe de engenharia, em formato de recorte do pavimento tipo com o objetivo de aproximar a visualização dos elementos. A equipe de engenharia solicitou algumas modificações para adequar o modelo as normas de execução da empresa. Realizadas as alterações no modelo e

validado com a equipe de engenharia, o modelo foi apresentado para equipe de obra.

Figura 51 – Exemplos de pacotes de trabalho apresentados para equipe de obra e engenharia de acordo com a sequência executiva.



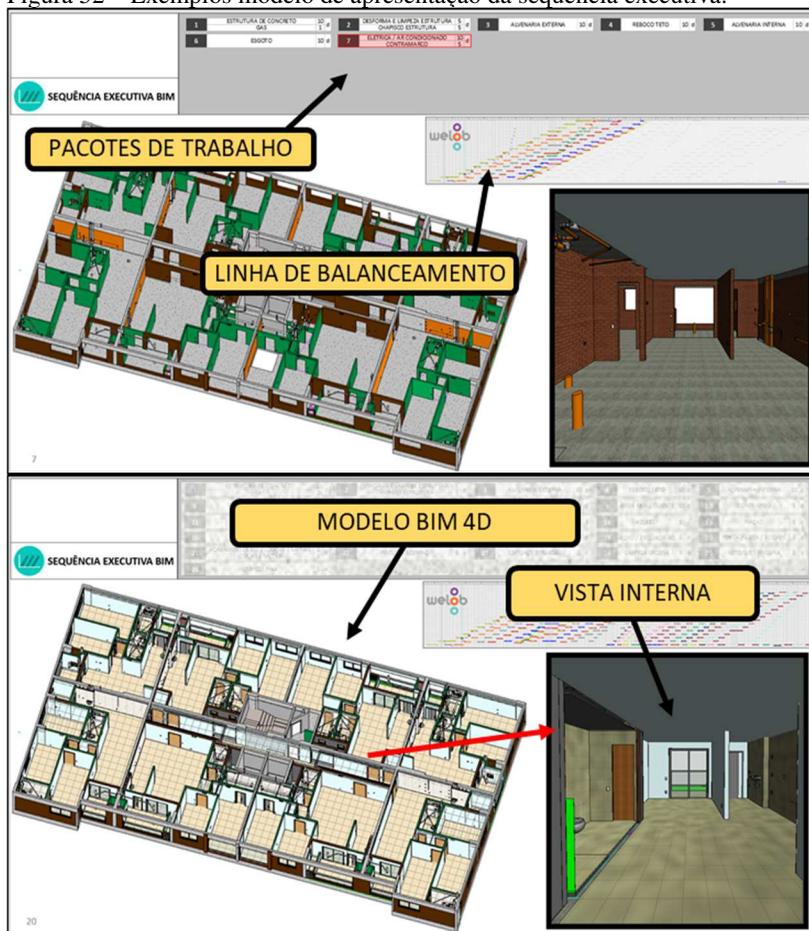
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.1.2 Passo 2 – Formulação dos Pacotes de Trabalho Estratégicos

A apresentação do modelo BIM 4D do pavimento tipo para equipe de obra em conjunto com a equipe de engenharia foi feita por meio da proposta de sequência executiva revisada da unidade de repetição. Na Figura 51 são apresentados dois exemplos das páginas utilizadas na apresentação. Cada página continha informações de qual pacote de trabalho se tratava, qual sua posição na linha de balanceamento, uma vista de cima em perspectiva de todo o pavimento tipo e uma vista interna da sala, cozinha, banheiro e sacada para facilitar a didática da apresentação.

A definição da unidade de repetição para elaborar os pacotes de trabalho de nível estratégico foi discutida com a equipe e foi definido todo o pavimento tipo como unidade de repetição. Dependendo da tipologia da obra, pode-se dividir o pavimento tipo em duas ou mais unidades de repetição. Em seguida, a sequência executiva apresentada inicialmente foi analisada em conjunto da equipe de obra, as atividades de contrapiso e reboco foram invertidas antecipando o início da execução do contrapiso devido ao atraso na entrega do contramarcos.

Figura 52 – Exemplos modelo de apresentação da sequência executiva.



Fonte: elaborado pelo autor.

Validada a sequência executiva, pode-se iniciar a formulação dos Pacotes de Trabalho Estratégicos (PTE) da linha de balanceamento. Como citado anteriormente, a empresa emprega linha de balanceamento e *last planner system* em seus empreendimentos. A linha de balanceamento desenvolvida pela equipe de engenharia e utilizada para análise e formulação dos PTEs está apresentada na Figura 52.

Figura 53 – Linha de Balanceamento do Empreendimento “B” desenvolvida com WELOB.



Fonte: fornecida pela empresa.

Após análise da linha de balanceamento inicialmente proposta, foram definidos 26 PTEs. Pelo fato da obra estar em andamento, foram priorizados em conjunto com a equipe de obra, o desenvolvimento das fichas de PTE para (Figura 53): (i) contrapiso; (ii) reboco; (iii) impermeabilização; (iv) azulejo; (v) forro de gesso; (vi) piso cerâmico; e, (vii) massa corrida + 1ª demão.

Figura 54 – Fichas de PTEs elaboradas para o Empreendimento “B”.

CONTRAPISO

10- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-COR

PACOTE DE TRABALHO **IMPENSBILIZAÇÃO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Muro de painéis tipo

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 588 m²
 28.61 t

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Revestimento	m ²	588,00	18,61
2	Argamassa pronta para aplicação (1:3:6)	m ³	18,61	10,75

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	10,75	10,75
2	Assistente	2,15	2,15

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	0,20	0,20
2	Carretinho	0,20	0,20

Especificações de Projeto

Local de Execução

PTE-COR (CONTRAPISO)

Relações de Precedência

PRE-CORRIDA PTE-CORRIDA

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-REDE (PARQUEAMENTO)

Condições externas / Risco

Preparação da argamassa de revestimento, utilização de equipamentos para a elevação

Segurança do Trabalho

Cuidar com o uso dos equipamentos, utilizar capacete, luvas e óculos de proteção

REBOCO

12- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-REB

PACOTE DE TRABALHO **REBOCO-INTERNO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 1

ESCRITO

Descrição de missão: Muro de painéis tipo

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 2002 m²
 32,36 m³

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Massa interna 1:3:6	m ³	1710,00	26,58
2	Massa interna acabada 1:3:6	m ³	292,00	5,78

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	108,00	108,00
2	Assistente	21,60	21,60

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	2,16	2,16
2	Carretinho	0,36	0,36

Especificações de Projeto

Local de Execução

REBOCO-INTERNO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-COP (CONTRAPISO) PTE-IMP (IMPERMEABILIZAÇÃO)

Condições externas / Risco

Preparação da massa de revestimento, aplicação cuidadosa

Segurança do Trabalho

Cuidar com o uso dos equipamentos, utilizar capacete, luvas e óculos de proteção

IMPERMEABILIZAÇÃO

13- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-IMP

PACOTE DE TRABALHO **IMPERMEABILIZAÇÃO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Impermeabilização em áreas externas, varandas e sacadas de varanda

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 209 m²
 298,57 kg

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Impermeabilizante em pó	m ²	19,00	25,10
2	Impermeabilizante líquido	m ²	10,00	137,47

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	1,90	1,90
2	Assistente	0,38	0,38

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	0,38	0,38
2	Carretinho	0,08	0,08

Especificações de Projeto

Local de Execução

IMPERMEABILIZAÇÃO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-ACRILICA (PISO)

Condições externas / Risco

Substituir o piso de cerâmica por um piso impermeabilizante, aplicação cuidadosa

Segurança do Trabalho

Verificar a classificação do produto quanto à toxicidade, utilizar máscara, óculos e luvas de proteção

MASSA CORRIDA + 1º DEM.

13- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-IMP

PACOTE DE TRABALHO **IMPERMEABILIZAÇÃO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Impermeabilização em áreas externas, varandas e sacadas de varanda

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 209 m²
 298,57 kg

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Impermeabilizante em pó	m ²	19,00	25,10
2	Impermeabilizante líquido	m ²	10,00	137,47

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	1,90	1,90
2	Assistente	0,38	0,38

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	0,38	0,38
2	Carretinho	0,08	0,08

Especificações de Projeto

Local de Execução

IMPERMEABILIZAÇÃO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-ACRILICA (PISO)

Condições externas / Risco

* Boas práticas de higiene
* Fugir da entrada com o piso impermeabilizado na parede e no teto

Segurança do Trabalho

* Boas práticas de higiene
* Fugir da entrada com o piso impermeabilizado na parede e no teto

AZULEJO

14- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-AZULEJO

PACOTE DE TRABALHO **IMPENSBILIZAÇÃO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Instalação de azulejos em áreas externas, varandas e sacadas de varanda

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 422 m²

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Revestimento	m ²	422,00	16,88
2	Argamassa pronta para aplicação (1:3:6)	m ³	126,60	7,42

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	126,60	126,60
2	Assistente	25,32	25,32

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	2,53	2,53
2	Carretinho	0,51	0,51

Especificações de Projeto

Local de Execução

PTE-AZULEJO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-ACRILICA (PISO)

Condições externas / Risco

Especialização para a aplicação de azulejos, aplicação cuidadosa

Segurança do Trabalho

Especializar na instalação dos azulejos. Cuidar com o uso dos equipamentos de proteção

FORRO DE GESSO

16- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-FOGE

PACOTE DE TRABALHO **FORRO DE GESSO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Instalação de forro de gesso em áreas externas, varandas e sacadas de varanda

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 123 m²

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Forro de gesso	m ²	123,00	3,69
2	Argamassa pronta para aplicação (1:3:6)	m ³	36,90	2,27

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	36,90	36,90
2	Assistente	7,38	7,38

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	0,74	0,74
2	Carretinho	0,15	0,15

Especificações de Projeto

Local de Execução

FORRO DE GESSO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-ACRILICA (PISO)

Condições externas / Risco

Preparação da massa de revestimento, aplicação cuidadosa

Segurança do Trabalho

Educação, treinamento, utilização de equipamentos de proteção

PISO CERÂMICO

17- PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-PCG

PACOTE DE TRABALHO **PISO CERÂMICO**

CÍRCULO DE PRODUÇÃO \$ **di\$**

Responsável: Eng. Leonardo Cordeiro Data: 30/03/2018

Desenvolvido por: Realiza em: 0

ESCRITO

Descrição de missão: Instalação de piso cerâmico em áreas externas, varandas e sacadas de varanda

DISPOSITIVO VISUAL: META DO PACOTE DE TRABALHO

META PRODUÇÃO
 588 m²

Nº	Descrição	Unidade	Volume	Valor
1	Piso cerâmico	m ²	588,00	23,52
2	Argamassa pronta para aplicação (1:3:6)	m ³	176,40	10,96

Mão de obra

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Operário	176,40	176,40
2	Assistente	35,28	35,28

Equipamentos

Nº	Descrição	Quantidade	Valor
1	Escalador	3,53	3,53
2	Carretinho	0,71	0,71

Especificações de Projeto

Local de Execução

PISO CERÂMICO

Relações de Precedência

PRE-REBOCO REBOCO

PTE-ACRILICA (PISO) PTE-ACRILICA (PISO)

Condições externas / Risco

Especialização para a aplicação de piso cerâmico, aplicação cuidadosa

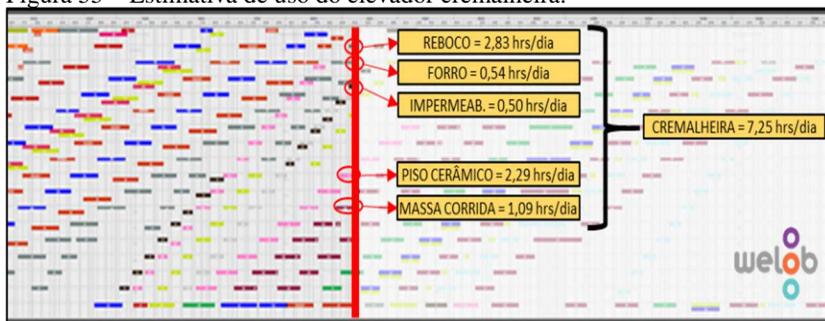
Segurança do Trabalho

Especializar na instalação do piso cerâmico. Cuidar com o uso dos equipamentos de proteção

Fonte: elaborado pelo autor.

Verificou-se que a maior parte dos PTEs utilizam o elevador cremalheira como equipamento de transporte vertical no seu fluxo de recursos. Nas fichas de PTE estão estimadas a média diária de uso do elevador cremalheira (calculadas pela estimativa da meta de produção, quantitativo de material para alcançar a meta e tempo para abastecimento), com essa informação atrelada a linha de balanceamento é possível obter o tempo total estimado para uso do equipamento em determinado instante da obra (Figura 54). Para o Empreendimento “B” durante a execução do “PTE - Reboco” na última unidade de repetição estimou-se uso de 7,25 horas/dia do elevador cremalheira para movimentação de material. O “PTE - Reboco” é responsável por 2,83 horas/dia, seguido do “PTE - Piso Cerâmico” com 2,29 horas/dia, PTE Massa Corrida com 1,09 horas/dia, “PTE - Forro” com 0,54 horas/dia e “PTE – Impermeabilização” com 0,50 horas/dia. Esta informação pode auxiliar no processo de tomada de decisão da necessidade de incluir um segundo equipamento de movimentação vertical para determinado PTE, *e. g.*, um guincho de coluna para movimentação da argamassa do piso cerâmico.

Figura 55 – Estimativa de uso do elevador cremalheira.



Fonte: elaborado pelo autor baseado na LdB fornecida pela empresa.

Finalizada a 1ª etapa de elaboração das fichas de PTE, elas foram entregues para análise e utilização da equipe de engenharia de obra, o objetivo é auxiliar na gestão do planejamento e controle dos pacotes de trabalho, estabilizar os ciclos de produção adotados na linha de balanceamento e aprimorar a gestão do conhecimento, centralizando todas as informações relativas ao PTE em um único documento. A Figura 55 mostra a comparação entre o modelo BIM 4D e o executado em obra na etapa do “PTE 03 – Elevação Alvenaria Externa”.

Figura 56 – Comparação entre modelo BIM 4D e executado em obra, etapa alvenaria externa.



Fonte: elaborado pelo autor.

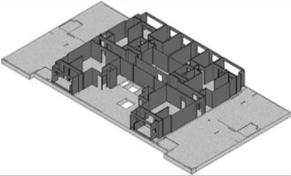
Na Figura 56 a comparação entre o modelo BIM 4D e o executado em obra na etapa do “PTE 07 – Elétrica, Ar Condicionado e Contramarco” é apresentado.

Figura 57 – Comparação entre modelo BIM 4D e executado em obra, etapa infra split.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 59b – Fichas PTTs Reboco.

12.2 - PACOTE DE TRABALHO TÁTICO: PTT-REBI																																						
PACOTE DE TRABALHO CICLO DE PRODUÇÃO		REBOCO INTERNO																																				
		5	dias																																			
Responsável:	Eng. Leonardo Corrêa		Data: 10/02/2019																																			
Desenvolvido por:			Revisão nº: 1																																			
ESCOPO Execução do reboco interno do pavimento tipo																																						
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO																																						
			META PRODUÇÃO 807 m ² 13,14 m ³																																			
1)	Material																																					
	Descrição	Área	Volume																																			
	Reboco interno - 1,5 cm	704,00 m ²	10,56 m ³																																			
	Reboco interno sacadas - 2,5 cm	103,00 m ²	2,58 m ³																																			
2)	Mão de obra																																					
	Descrição	Produtividade	Quantidade																																			
	Pedreiro	0,25 Hh/m ²	162,80																																			
	Ajudante	0,125 Hh/m ²	64,00																																			
3)	Equipamentos																																					
	Descrição	Quantidade	Volume/dia																																			
	Elevador Cremalheira	2,33 hrs.dia	2,63 m ³																																			
	Caixa plástica (0,2 m ³)	14 und																																				
PLANEJAMENTO SEMANAL																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PPC</th> <th>SEG</th> <th>TER</th> <th>QUA</th> <th>QUI</th> <th>SEX</th> <th>SAB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reboco interno - 1,5 cm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reboco interno sacadas - 2,5 cm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elevador Cremalheira</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Caixa plástica (0,2 m³)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PPC	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Reboco interno - 1,5 cm							Reboco interno sacadas - 2,5 cm							Elevador Cremalheira							Caixa plástica (0,2 m ³)								
PPC	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB																																
Reboco interno - 1,5 cm																																						
Reboco interno sacadas - 2,5 cm																																						
Elevador Cremalheira																																						
Caixa plástica (0,2 m ³)																																						

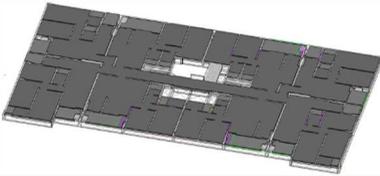
Fonte: elaborado pelo autor.

As fichas de PTTs no estudo empírico 2 contemplam o dispositivo visual da meta do PTT com o uso do modelo BIM 4D, o quantitativo dos (1) materiais necessários retirados do modelo BIM 4D, a (2) mão de obra necessária calculada com o uso da produtividade fornecida pela empresa, os (3) equipamentos para movimentação dos recursos da área de estoque até o local de aplicação, e as informações de planejamento semanal e indicar de PCC para integrar com o *LPS*. Diferente do estudo empírico 1 que foram contempladas os mesmos itens dos PTEs mais o planejamento semanal, para o estudo empírico 3 verificou-se com a equipe de engenharia e obra que apenas as informações contidas nos PTTs da Figura 57 seriam suficientes para auxiliar a gestão, devido ao fato das demais informações não se alterarem no desdobramento.

Inicialmente, o pesquisador propôs dividir as metas de produção em um apartamento por dia, resultando em cinco apartamentos no 1º PTT e o restante dos apartamentos mais o corredor no 2º PTT, com o último dia do ciclo para limpeza e preparação dos equipamentos para o ciclo posterior. A equipe de obra concordou e foi decidido colocar uma dupla de cada lado do pavimento, resultando na meta de um apartamento por dupla a cada dois dias. Como resultado a meta do 1º PTT são os dois apartamentos laterais mais o início dos dois apartamentos centrais da frente do empreendimento. A meta do 2º PTT é o restante dos apartamentos mais o corredor central.

O “PTE – Contrapiso” possui ciclo de produção de 5 dias, portanto não precisa ser desdobrado para uma meta com prazo de execução menor para atender aos critérios de formulação dos PTTs. Na Figura 58, apresenta-se a ficha do “PTT – Contrapiso”.

Figura 60 – Ficha “PTT – Contrapiso”.

10 - PACOTE DE TRABALHO TÁTICO: PTE-COPI																																															
PACOTE DE TRABALHO CICLO DE PRODUÇÃO			CONTRAPISO																																												
			5	dias																																											
Responsável:		Eng. Leonardo Corrêa		Data:	09/02/2019																																										
Desenvolvido por:				Revisão nº:	0																																										
ESCOPO																																															
Execução do contrapiso do pavimento tipo																																															
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO																																															
				META PRODUÇÃO																																											
				588 m ² 28,61 m ³																																											
Material																																															
1)	Descrição	Área	Volume																																												
	Argamassa bomb. para contrapiso (5 cm)	588,00 m ²	28,61 m ³																																												
Mão de obra																																															
2)	Descrição	Produtividade	Homens-hora	Quantidade																																											
	Pedreiro	0,25 Hh/m ²	14,700	4																																											
	Ajudante	0,15 Hh/m ²	89,20	2																																											
Equipamentos																																															
3)	Descrição	Quantidade	Volume/dia																																												
	Bomba estacionária	1,43	hrs.dia	5,72 m ³																																											
	Caminhão betoneira	0,72	und																																												
PLANEJAMENTO SEMANAL																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PPS</th> <th>SEG</th> <th>TER</th> <th>QUA</th> <th>QUI</th> <th>SEX</th> <th>SAB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Execução do contrapiso</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td>Execução do contrapiso</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td>Execução do contrapiso</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td>Execução do contrapiso</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td>Execução do contrapiso</td> <td style="background-color: black;"></td> </tr> </tbody> </table>		PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	Execução do contrapiso							Execução do contrapiso							Execução do contrapiso							Execução do contrapiso							Execução do contrapiso										
PPS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB																																									
Execução do contrapiso																																															
Execução do contrapiso																																															
Execução do contrapiso																																															
Execução do contrapiso																																															
Execução do contrapiso																																															

Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar de contrariar um dos objetivos da LdB, que é ter pacotes de trabalho com mesmo ciclo de produção afim de manter a continuidade na execução do serviço, a empresa adotou esta estratégia pois a execução do contrapiso autonivelante é feita por uma equipe terceirizada que consegue preencher o tempo de espera entre a execução das unidades de repetição com outros empreendimentos.

4.2.2 Estudo Empírico 3

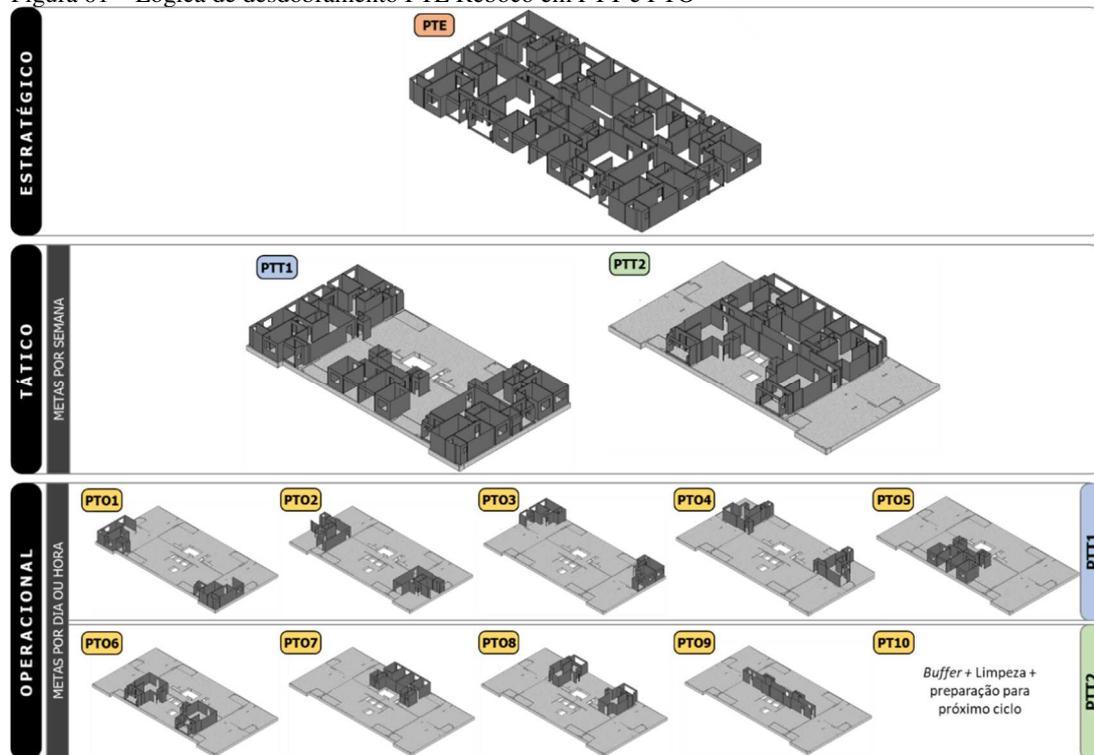
O estudo empírico 3 consistiu na identificação e desdobramento de pacotes de trabalho para o nível operacional com o uso do BIM 4D, modelar as metas operacionais e operacionalizar os PTO com o planejamento da obra.

4.2.2.1 Passo 4 – Formulação dos Pacotes de Trabalho Operacionais

Segundo a proposta do método, o desdobramento para PTO deve ser feito em ondas sucessivas, ou seja, os PT devem ser desdobrados a medida que o seu momento de execução está se aproximando. Um dos motivos é evitar o retrabalho, pois se o processo de desdobramento for realizado com antecedência (*e. g.* um ano), existe a probabilidade da equipe responsável pelo desdobramento e execução do PT não ser a mesma daquela que realizou a sua análise inicialmente, fato que provavelmente irá alterar a estratégia de execução que é direcionada pela equipe que irá executar o PT.

Seguindo o desdobramento dos PTEs em PTTs, foram escolhidos os PT de Reboco e Contrapiso para a análise em nível operacional. Na Figura 59, é apresentada a lógica de desdobramento do “PTE – Reboco” em PTT e PTO. A estratégia de visualização utilizada na primeira reunião com a equipe de obra para o “PT – Reboco” foi mantendo as paredes de alvenaria no modelo BIM 4D, contudo foi apresentada a opção para equipe de manter apenas os elementos do reboco na visualização do modelo e os integrantes foram de acordo com a segunda opção de visualização.

Figura 61 – Lógica de desdobramento PTE Reboco em PTT e PTO



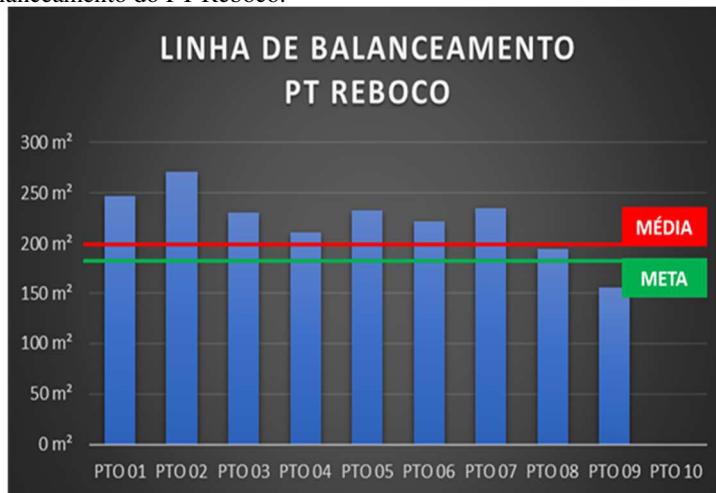
Fonte: elaborado pelo autor.

Para este desdobramento, assim como no estudo empírico 1, foi realizado o levantamento de quantitativos com o *Revit* para balancear as metas diárias. Em cada elemento foi inserido o PT que este pertence no item “comentários” para gerar a “Tabela de Parede” diretamente no *Revit* e desenvolver o gráfico de balanceamento das metas diárias de produção (Figura 60) para equilibrar a média diária de produção entre os PTOs.

Definida as paredes que compõem a meta diária de produção de cada PTO, iniciou-se o desenvolvimento dos PTOs para o reboco (Figura 61). Diferentemente dos PTOs de alvenaria desenvolvidos para o empreendimento “A”, nestes PTOs não houve a necessidade de identificar com cores os elementos (*i. e.* paredes) da meta diária pelo fato deles possuírem separação física na obra (*i. e.* apartamentos).

Figura 62 – “Tabela de Parede” do Revit e Gráfico de balanceamento do PT Reboco.

<Tabela de parede>			
A	B	C	D
Tipo	Área	Volume	Comentários
REBOCO - DIA 1			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	27 m ²	0,66 m ³	REBOCO - DIA 1
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	220 m ²	3,30 m ³	REBOCO - DIA 1
REBOCO - DIA 2			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	38 m ²	0,96 m ³	REBOCO - DIA 2
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	233 m ²	3,49 m ³	REBOCO - DIA 2
REBOCO - DIA 3			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	33 m ²	0,81 m ³	REBOCO - DIA 3
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	198 m ²	2,97 m ³	REBOCO - DIA 3
REBOCO - DIA 4			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	31 m ²	0,78 m ³	REBOCO - DIA 4
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	180 m ²	2,70 m ³	REBOCO - DIA 4
REBOCO - DIA 5			
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	233 m ²	3,49 m ³	REBOCO - DIA 5
REBOCO - DIA 6			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	52 m ²	1,31 m ³	REBOCO - DIA 6
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	170 m ²	2,55 m ³	REBOCO - DIA 6
REBOCO - DIA 7			
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	235 m ²	3,53 m ³	REBOCO - DIA 7
REBOCO - DIA 8			
REBOCO EXTERNO COM PINTURA - 3 cm 2	51 m ²	1,27 m ³	REBOCO - DIA 8
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	144 m ²	2,16 m ³	REBOCO - DIA 8
REBOCO - DIA 9			
REBOCO INTERNO COM PINTURA - 2cm	155 m ²	2,33 m ³	REBOCO - DIA 9
Total geral: 502	2002 m ²	32,33 m ³	



Fonte: elaborado pelo autor.

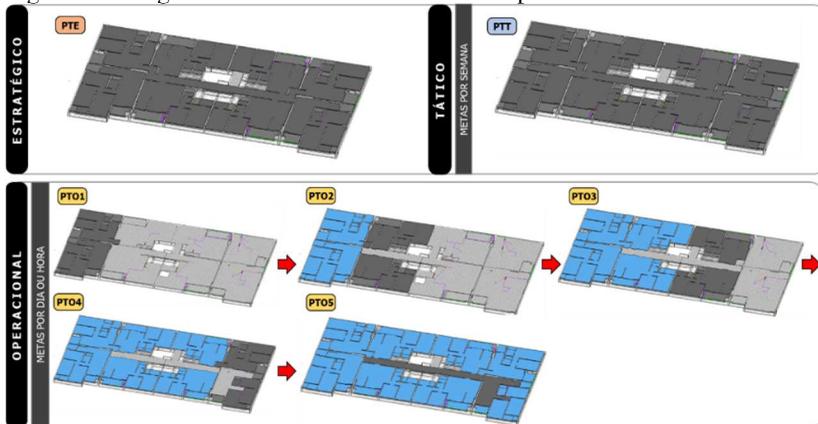
Figura 63 – As 9 fichas dos PTOs do Reboco.



Fonte: elaborado pelo autor.

A lógica de desdobramento (Figura 62) adotada para o contrapiso autonivelante foi iniciar a execução do PTO 01 pelos apartamentos final 01 e 08, com meta de dois apartamentos por dia, finalizando com a meta do PTO 05 de uma sala e o hall.

Figura 64 – Lógica de desdobramento PTE Contrapiso em PTT e PTO.



Fonte: elaborado pelo autor.

A mesma estratégia utilizada para as paredes foi utilizada para os pisos, em cada elemento foi inserido o PT que ele pertence no item “comentários” para gerar a “Tabela de Piso” diretamente no *Revit* e desenvolver o gráfico de balanceamento das metas diárias de produção (Figura 63) para equilibrar a média diária de produção entre os PTOs e auxiliar as análises com a equipe de obra.

Definidos os panos de piso que compõem a meta diária de produção de cada PTO, iniciou-se o desenvolvimento dos PTOs para o contrapiso (Figura 64). Como estratégia de visualização, foram eliminados todos os elementos de paredes, instalações e acabamentos da vista, mantendo somente a laje de concreto em os panos de contrapiso que serão executados.

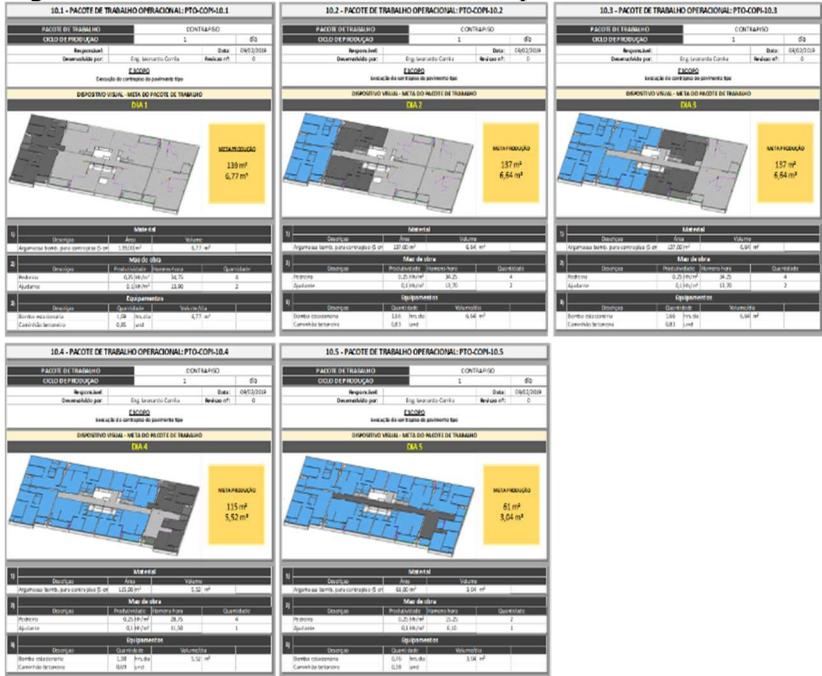
Figura 65 – “Tabela de Piso” do Revit e Gráfico de balanceamento do PT Contrapiso.

<Tabela de piso>			
A	B	C	D
Tipo	Área	Volume	Comentários
CONTRAPISO - DIA 1			
	139 m ²	6.77 m ³	CONTRAPISO - DIA 1
CONTRAPISO - DIA 2			
	137 m ²	6.64 m ³	CONTRAPISO - DIA 2
CONTRAPISO - DIA 3			
	137 m ²	6.64 m ³	CONTRAPISO - DIA 3
CONTRAPISO - DIA 4			
	115 m ²	5.52 m ³	CONTRAPISO - DIA 4
CONTRAPISO - DIA 5			
Contrapiso 5 cm	61 m ²	3.04 m ³	CONTRAPISO - DIA 5
Total geral: 69	588 m ²	28.61 m ³	

Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 66 – As 5 fichas dos PTOs do contrapiso.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.2.2 Passo 5 – Projeto e Operacionalização

O “Passo 5” compreende a integração das fichas de pacote de trabalho ao Projeto do Sistema de Produção (PSP) e ao Projeto do Sistema de Operação (PSO). O “PT – Contrapiso” será utilizado para exemplificar este processo. A Figura 65 demonstra a lógica de integração das fichas de PT ao *last planner system*.

A definição da sequência executiva seguida do desenvolvimento dos PTEs, para definir a sequência do fluxo de trabalho e seu ritmo de produção e equalizar o fluxo de trabalho com a capacidade produtiva, contribui para a decomposição estruturada do plano mestre e do *phase scheduling* e para o estabelecimento da LdB do empreendimento. Esta primeira etapa do desenvolvimento está englobada no PSP. Em posse das fichas de PTEs, o gestor do empreendimento tem a visão sintetizada de no mínimo as sete pré-condições de fluxo de recursos (KOSKELA, 2000) para execução do pacote de trabalho e por consequência estabilização dos fluxos de trabalho que compõem o sistema de produção do empreendimento. Deste modo, a equipe poderá adaptar o sistema de produção em caso de variabilidade e incertezas, minimizando os seus efeitos na produção.

Finalizada a etapa de nível estratégico do planejamento, pode-se iniciar o desenvolvimento do PSO. Uma de suas etapas, consiste em desdobrar os PTEs para os níveis táticos e operacionais (PTT e PTO). Este desdobramento deve ser realizado, idealmente, em conjunto com a equipe de engenharia e de obra do empreendimento. Os PTEs desdobrados em PTTs são incluídos no processo do *lookahead*. Um dos indicadores gerados nesse processo é o Índice de Remoção das Restrições (IRR) que contabiliza as restrições para o início de um PTT (*e. g.* contratação da mão obra, compra do material, procedimentos de execução) e que devem ser resolvidas dentro prazo acordado. Para isso, deve ser realizada a análise de cada PTT para verificar as suas restrições de liberação execução, criando assim um estoque de PTTs liberadas para execução.

Utilizando o estoque de tarefas liberadas, o Plano de Produção Semanal (PPS) pode ser desenvolvido na reunião semanal de planejamento. A inclusão das tarefas no PPS é parte de processo de comprometimento entre os *Last Planners* (*i. e.* mestre de obras, encarregados, donos de empreiteiras) daquilo que eles realmente IRÃO FAZER. Nesta fase, são utilizadas as fichas de PTOs para análise e inclusão das tarefas no PPS. Na Figura 66 o sistema de interação entre Ordens de Produção (OP) e as fichas de PTO é explicitado. Os PTO possuem maior granularidade e estão em um horizonte de planejamento abaixo do LPS, por identificar as metas diárias de produção e possibilitar o detalhamento em horas, minutos ou segundos dos fluxos de trabalho e de recursos pertencentes ao sistema de produção.

Figura 68 – Interação ficha PTO e Ordem de Produção.

10.2 - PACOTE DE TRABALHO OPERACIONAL: PTO-COPI-10.2		OP Nº:	00345																				
PACOTE DE TRABALHO CONTRAPISO Ciclo de Produção: 2 dias		DATA:	21/02/2019																				
Responsável: Eng. Leonardo C. Costa Data: 09/02/2019 Refeção nº: 0		ORDEM DE PRODUÇÃO DESCRÇÃO: CONTRAPISO AUTONIVELANTE																					
DEPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO DIA 2		OBSERVAÇÕES: N/C																					
Material Argamassa de EXECUTADO DIA 1		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ELEMENTO</th> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>QTD.</th> <th>UN.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>0012452 Argamassa contrapiso</td> <td>2.640</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>0012446 Argamassa contrapiso</td> <td>2.455</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>0012434 Argamassa contrapiso</td> <td>1.806</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>0012466 Argamassa contrapiso</td> <td>1.122</td> <td>m³</td> </tr> </tbody> </table>		ELEMENTO	DESCRIÇÃO	QTD.	UN.	<input type="checkbox"/>	0012452 Argamassa contrapiso	2.640	m³	<input type="checkbox"/>	0012446 Argamassa contrapiso	2.455	m³	<input type="checkbox"/>	0012434 Argamassa contrapiso	1.806	m³	<input type="checkbox"/>	0012466 Argamassa contrapiso	1.122	m³
ELEMENTO	DESCRIÇÃO	QTD.	UN.																				
<input type="checkbox"/>	0012452 Argamassa contrapiso	2.640	m³																				
<input type="checkbox"/>	0012446 Argamassa contrapiso	2.455	m³																				
<input type="checkbox"/>	0012434 Argamassa contrapiso	1.806	m³																				
<input type="checkbox"/>	0012466 Argamassa contrapiso	1.122	m³																				
Mão de obra Pedreiro Ajudante LAJE DE CONCRETO																							
Equipamentos Bomba betoneira Caminhão betoneira																							

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma das informações das fichas PTOs é a meta de produção. Esta meta indica o que deve ser feito no dia 2 do ciclo, no caso da “PTO 10.2 – Contrapiso”. Idealmente, as tarefas indicadas na “OP 00345” devem corresponder as metas indicadas na ficha PTO 10.2. Contudo, caso venha a ocorrer algum desvio da meta (*e. g.* o elemento 0012466 não foi concluído por problemas no equipamento), a OP do dia seguinte pode ser alterada incluindo o elemento faltante da OP anterior, caso o sistema produtivo possa absorver essa variação de demanda. Portanto, as fichas de PTO são referências do PSO que apresentam as metas que devem ser realizadas a cada dia do ciclo, com as informações de material, mão de obra e equipamento, para atingir o ciclo de produção adotado para o PT. Durante a realização da reunião semanal de planejamento, devem ser discutidas e definidas as tarefas que serão executadas para a elaboração do PPS. Na Figura 67, é apresentado o exemplo da programação do PPS elaborado para execução do contrapiso do 1º e do 2º pavimento do empreendimento “B”. Em posse do PPS, pode-se inicializar a fase de operação do planejamento.

Durante o estudo empírico 3, foram escolhidos os PTs Contrapiso e Reboco para o desdobramento ao nível de PTO, que segundo a equipe de engenharia e obra os que se enquadravam nos critérios de desdobramento do método, ou seja, risco não atingir o ciclo de produção estabelecido e impacto no planejamento da obra. Contudo, durante a elaboração do estudo, ambas as atividades tiveram seu início postergado para após o término da presente dissertação

Figura 69 – Exemplo PPS do empreendimento “B”.



Fonte: elaborado pelo autor.

O reboco por problemas de entrega do material do pacote de trabalho predecessor e o contrapiso por problemas no agendamento da execução do pacote de trabalho por parte da empresa terceirizada. Portanto, a fim de validar a etapa de operacionalização e melhoria contínua do método, foi realizada a simulação do andamento de uma semana de operação do LPS integrado às fichas de PTO. Na Figura 68 está o resultado da semana 01 do PPS, com PPC de 80% devido ao atraso no ciclo do dia 04 por problemas de abastecimento de material. As barras em verde representam a data de conclusão das tarefas.

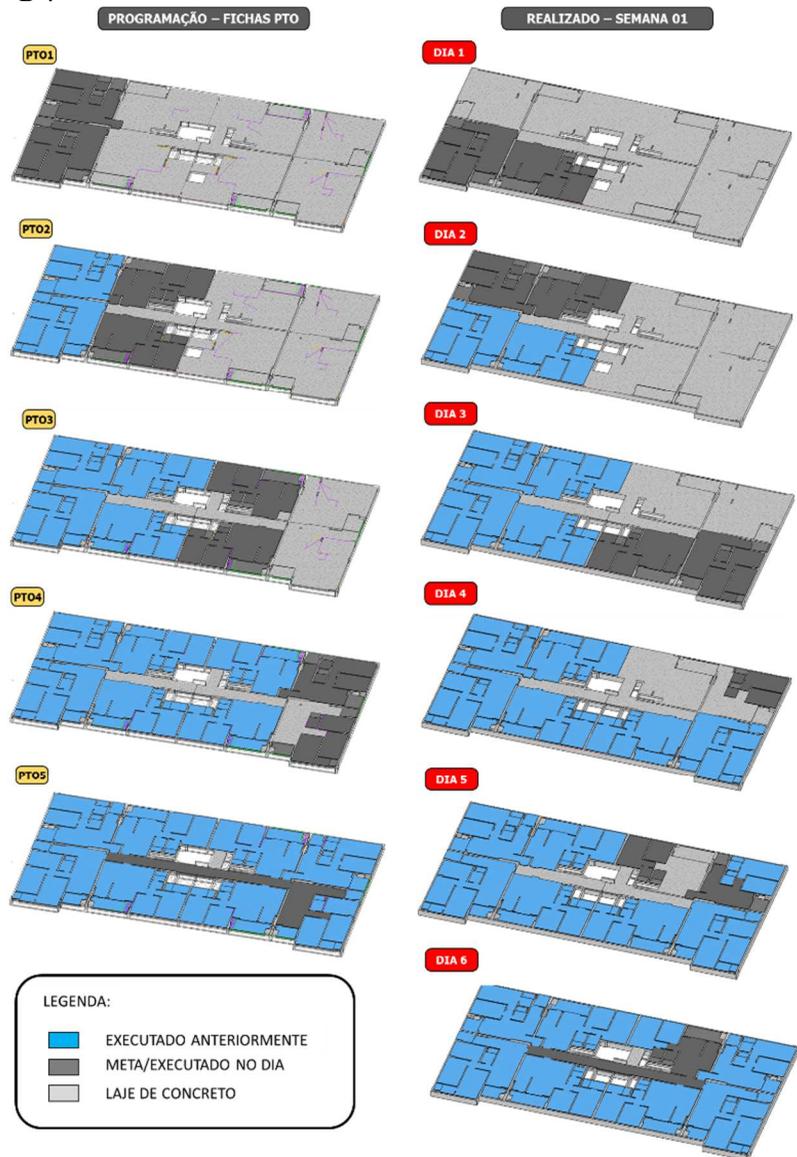
Figura 70 – Realizado Semana 01 do empreendimento “B”.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 69 é feita a comparação entre a programação sugerida pelas fichas PTO e o realizado na semana 01.

Figura 71 – Programação Fichas PTO x Realizado Semana 01 empreendimento “B”.



Fonte: elaborado pelo autor.

No dia 01 do ciclo a execução foi iniciada pelo apartamento da frente-lateral do lado esquerdo e, ao invés de seguir para o apartamento da fundos-lateral lado esquerdo, por motivos de deslocamento da bomba de abastecimento, a equipe preferiu executar o apartamento da frente lado esquerdo. Apesar da sequência executiva ter sido trocada, o volume meta de execução foi mantido. No dia 02 do ciclo, a equipe fez os apartamentos espelhados aos realizados no dia 01. O dia 03 do ciclo, foi iniciado com a execução do apartamento frente-lateral lado direito e em seguida o apartamento frente lado direito. Neste dia estava programada a execução do apartamento fundos lado direito, porém nesse apartamento está localizado o elevador cremalheira e a rota da mão de obra de chegada e saída do pavimento deve ser por este apartamento. No dia 04 e no dia 05 ocorreu problema no fornecimento do material, postergando o término do PTO do pavimento para o dia 06 do ciclo.

Observadas as oportunidades de melhoria na execução do PT no primeiro pavimento tipo, pode-se iniciar o ciclo de melhoria contínua com a revisão dos PTOs. Deste modo, foi realizada a alteração da sequência executiva, considerando as restrições de deslocamento da bomba de abastecimento e da rota da mão de obra no pavimento tipo, resultando no gráfico de balanceamento da Figura 70.

A Figura 71 apresenta as Fichas de PTOs revisadas que devem ser utilizadas para a programação do próximo ciclo de produção englobado no PPS.

Figura 72 – Tabela de piso e Gráfico de Balanceamento do PTO Contrapiso REV01 do empr. “B”.

<Tabela de piso>			
A	B	C	D
Tipo	Área	Volume	Comentários
CONTRAPISO - DIA 1	148 m ²	7.21 m ³	CONTRAPISO - DIA 1
CONTRAPISO - DIA 2	128 m ²	6.21 m ³	CONTRAPISO - DIA 2
CONTRAPISO - DIA 3	154 m ²	7.49 m ³	CONTRAPISO - DIA 3
CONTRAPISO - DIA 4	87 m ²	4.24 m ³	CONTRAPISO - DIA 4
CONTRAPISO - DIA 5	65 m ²	3.20 m ³	CONTRAPISO - DIA 5
Total geral: 67	581 m ²	28.34 m ³	



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 73 – As 5 fichas “PTO – Contrapiso” revisadas de acordo com ciclo de melhoria contínua.



4.3 ETAPA DE CONSOLIDAÇÃO

A etapa de consolidação do método foi dividida em: (i) proposta final do método para desenvolvimento de pacotes de trabalho para linha de balanceamento com o uso do BIM 4D; (ii) avaliação das contribuições práticas do método; e, (iii) avaliação das contribuições teóricas do método.

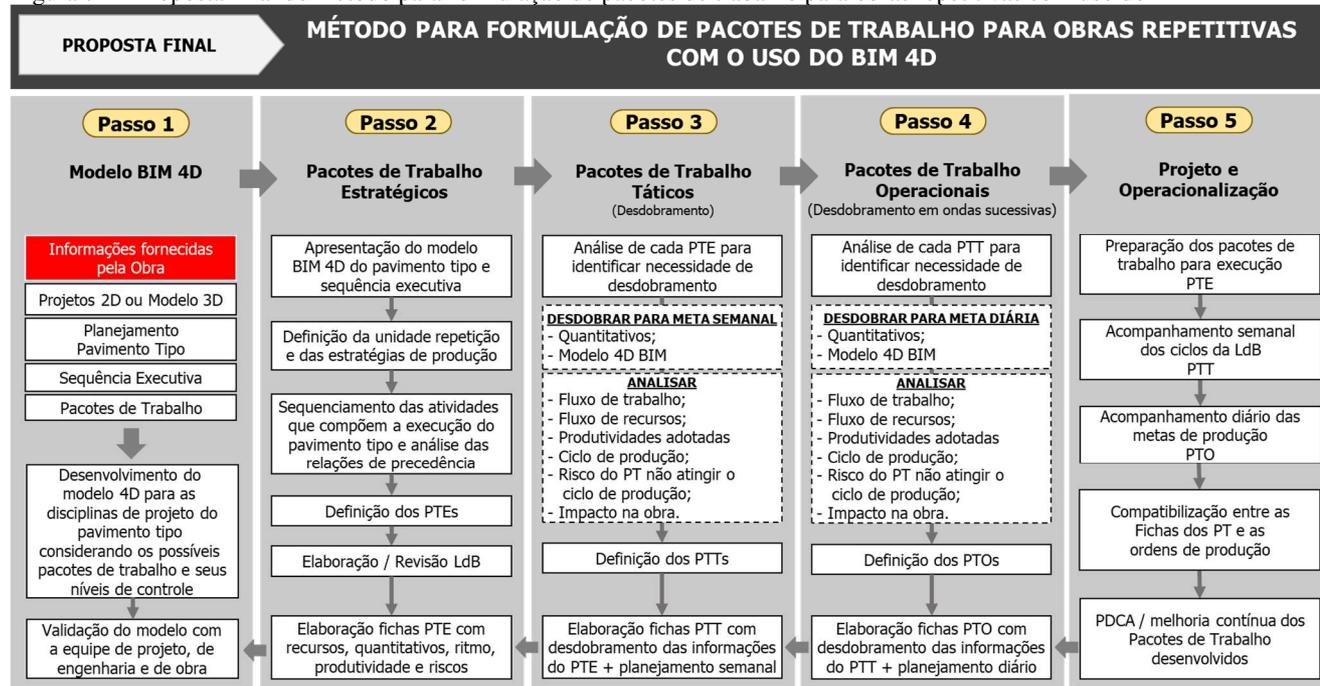
4.3.1 Proposta final do método para formulação de PT para obras repetitivas com BIM 4D

A Figura 72 apresenta a proposta final do método proposto, que é dividido em cinco passos: (i) Modelo BIM 4D; (ii) Pacotes de Trabalho Estratégico; (iii) Pacotes de Trabalho Táticos; (iv) Pacotes de Trabalho Operacionais; e, (v) Projeto e Operacionalização.

O “Passo 1 – Modelo BIM 4D”, inicia-se com o recebimento dos projetos das disciplinas em 2D ou o Modelo 3D do empreendimento em estudo e da LdB entregues pela equipe de projeto e de engenharia da empresa. Nesta etapa, as discussões sobre a sequência executiva, os possíveis pacotes de trabalho planejados pela empresa e os níveis de controle desejados devem ser realizadas, com o objetivo de guiar o desenvolvimento do modelo BIM 4D e suas definições de uso. Como resultado, tem-se o modelo BIM 4D desenvolvido para as disciplinas de projeto do pavimento tipo considerando os pacotes de trabalho e seus níveis de controle, este modelo deve ser validado pela equipe de projeto, engenharia e obra.

O “Passo 2 – Pacotes de Trabalhos Estratégicos”, consiste na elaboração das fichas de PTEs. Para tal, é realizada a apresentação do modelo BIM 4D para os envolvidos no projeto por meio da primeira proposta de sequência executiva da unidade de repetição, o pavimento tipo. Em seguida, é iniciada a discussão da unidade de repetição para a linha de balanceamento, dependendo da tipologia da obra, pode-se dividir o pavimento tipo em duas ou mais unidades de repetição, com o objetivo de diminuir o prazo de execução por meio da sobreposição de equipes trabalhando no mesmo pavimento. Além da unidade de repetição, as estratégias de execução (*i. e.* equipamentos para abastecimento, ciclos de produção, histograma de mão de obra etc.) devem ser analisadas para possibilitar a elaboração das fichas PTE. Após, o sequenciamento das atividades que compõem a execução do pavimento e as suas relações de precedência são discutidos. Terminada estas etapas, pode-se iniciar a formulação dos PTEs, a elaboração ou revisão da LdB entregue pela empresa para validação dos envolvidos e a elaboração das fichas PTEs contendo informações de recursos (material, mão de obra e equipamentos), ciclos de produção, especificações de projeto, riscos, relações de precedência, local de execução, segurança do trabalho.

Figura 74 – Proposta final do método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com uso do BIM 4D



Fonte: elaborado pelo autor.

O “Passo 3 – Pacotes de Trabalho Táticos”, consiste no desdobramento dos PTEs para ciclos de produção de 5 dias, ou horizonte de uma semana, de modo que possam ser desenvolvidas metas intermediárias para os PTEs que tenham ciclo de produção maior que 5 dias, facilitando o controle semanal do planejamento e por consequência aumentando a aderência do programado ao executado. O desdobramento pode ser realizado durante a fase do PSP e ajustado ou revisado para se adequar as questões conjunturais do momento da operação da fase do e tem como resultado a elaboração das fichas de PTTs.

O “Passo 4 – Pacotes de Trabalho Operacionais”, refere-se ao desdobramento do PT ao nível diário de programação e controle das atividades. O desdobramento para PTO preferencialmente deve ser realizado em ondas sucessivas, ou seja, os PT devem ser desdobrados à medida que o seu momento de execução se aproxima. Um dos motivos é evitar o retrabalho, pois se o processo de desdobramento for realizado com antecedência (e. g. um ano), existe a probabilidade da equipe responsável pelo desdobramento e execução do PT não ser a mesma daquela que realizou a sua análise inicialmente, fato que provavelmente irá alterar a estratégia de execução que é direcionada pela equipe que irá executar o PT. O objetivo deste passo, é auxiliar no atingimento e estabilização do ciclo de produção, diminuindo a variabilidade do sistema de produção. O resultado é a elaboração das fichas dos PTOs contendo as metas diárias de produção para atingir o ciclo de produção do PT no nível tático e estratégico.

O “Passo 5 – Projeto e Operacionalização”, realiza a integração das fichas de pacote de trabalho ao Projeto do Sistema de Produção (PSP) e ao Projeto do Sistema de Operação (PSO) do empreendimento. Este passo acontece de forma cíclica durante a execução do empreendimento, portanto todas as etapas a seguir devem ser repetidas de preferência semanalmente. No início da execução dos PT compreendidos na LdB elaborada no “Passo 2”, as fichas de PTEs dentro de um horizonte de no mínimo dois meses devem ser analisadas e preparadas para a execução. Durante a execução do empreendimento, a LdB deve ser atualizada semanalmente por meio de reuniões semanais de produção. Os ciclos semanais desdobrados em PTTs devem ser analisados e comparados com a meta semanal. Visando a estabilização dos ciclos de produção estabelecidos, deve ser feito o acompanhamento diário das metas de produção por meio da comparação do avanço diário com as fichas de PTOs. Ao final de uma semana, as fichas de PT devem ser utilizadas para a gestão da melhoria contínua nas atividades dos PT.

4.3.2 Avaliação das contribuições práticas do método proposto

A etapa de avaliação acerca do desempenho na fase de teste do artefato, foi realizada com o *feedback* contínuo dos diversos atores e dos beneficiados com a sua implementação, com o intuito de fundamentar os indícios de funcionamento do artefato. As informações foram coletadas durante as etapas de desenvolvimento do método e em entrevistas específicas (APÊNDICE A) realizadas no estudo empírico 1 com o Engenheiro de Obra da empresa e no estudo empírico 2 e 3 com o Coordenador de Engenharia de empresa.

A avaliação do artefato determina se foi feito progresso, e deve ser feita por meio de métricas que determinam aquilo que se está buscando atingir (MARCH; SMITH, 1995). Segundo tais autores, a avaliação de métodos considera à utilidade do artefato, a operacionalidade, a eficiência, a generalidade, a facilidade de uso, a consistência e a qualidade dos resultados obtidos pelos analistas que aplicam o método, caracterizando seus impactos no ambiente e seus usuários (MARCH; SMITH, 1995). Frente a este contexto, o método (artefato) proposto foi avaliado considerando utilidade e facilidade de uso.

No que se refere à utilidade, foi identificado que a modelagem BIM 4D do pavimento tipo auxilia no aumento da transparência das decisões entre as equipes de projeto, engenharia e obra. Durante a validação do modelo, para um mesmo elemento (*e. g.* forro no corredor) cada equipe tinha uma especificação para execução e o desenvolvimento do modelo, com o método proposto gerou-se consenso sobre como proceder na especificação e execução de determinada disciplina. A elaboração da sequência executiva BIM 4D do pavimento tipo, demonstrando o avanço físico dos pacotes de trabalho da linha de balanceamento colaborou com a discussão das estratégias de produção. Para o empreendimento “A”, como a empresa participante não tinha experiência na aplicação da linha de balanceamento, a equipe argumentou que esta etapa do método auxiliou na aprendizagem, assertividade e no esclarecimento dos pacotes de trabalho que compõem a LdB para todos os envolvidos. No empreendimento “B”, o método apenas validou a sequência executiva inicialmente proposta. Contudo, verificou-se a realização de análises dos fluxos de trabalho mais aprofundadas e a visualização de possíveis interferências que seriam mais difíceis de antecipar com o uso do modelo bidimensional.

O desdobramento dos PTEs em PTTs foi útil para o processo de planejamento e controle da construção para ambos os empreendimentos, colaborando para o estabelecimento de metas semanais de produção. No

empreendimento “A”, no desdobramento de PTT em PTO, a equipe viu valor agregado no processo, porém como a execução do processo escolhido para desdobramento (*i. e.* elevação alvenaria) já estava consolidada na empresa e o abastecimento dos blocos cerâmicos eram feitos em um único dia no pavimento por meio de pallets, a equipe argumentou que teria pouco incremento na possibilidade de estabilizar os fluxos de trabalho e recursos. No empreendimento “B”, o *feedback* do desdobramento de PTT em PTO foi similar ao do empreendimento “A”, devido às características dos processos escolhidos para desdobramento. Como a obtenção dos quantitativos é mais exata e desdobrada para o dia a dia, foi observado que se teria maior assertividade na logística de abastecimento e no controle da produtividade, tendo como consequência, se ampliado para outras obras, a previsibilidade da produtividade aumentaria gradativamente. A empresa do empreendimento “B” também argumentou que se o processo tivesse mais complexidade, menos domínio por parte das equipes de execução ou fosse mais automatizado, o desdobramento agregaria mais valor ao planejamento. Outrossim, identificaram a possibilidade de aplicar o desdobramento no estudo da implementação de novas tecnologias, com o objetivo de analisar a viabilidade de sua aplicação no sistema construtivo.

A opção de desenvolver o modelo BIM 4D para o pavimento tipo, ao invés desenvolvê-lo para todo o empreendimento, foi visto como positivo em ambos os empreendimentos. A priorização de decisões de projeto que tem mais impacto no sistema de produção, modelo mais “leve”, facilidade na operação por ter menos elementos e menor prazo de modelagem foram uns dos benefícios citados pelos envolvidos.

Em relação à facilidade de uso, foi verificado que o método proposto trouxe facilidade para a formulação dos pacotes de trabalho da linha de balanceamento, colaborando com a visualização dos pacotes de trabalho para os envolvidos e a obtenção de quantitativos mais rápido e com mais assertividade para dimensionar os ciclos de produção. Segundo os envolvidos, a formulação dos pacotes de trabalho é facilitada com o a operação do modelo BIM 4D. Os itens a seguir oferecem oportunidades de melhoria para acelerar o desenvolvimento e aplicação do método proposto: (i) a criação das fichas de pacote de trabalho, pelo processo ser manual pode ser automatizado; e, (ii) a escolha de usar apenas o *Revit*, combinado com *snapshots* para desenvolver o modelo BIM 4D e gerar a visualização 4D do avanço físico do pavimento tipo, pode ser aplicado *software* para relacionar os elementos do modelo com a linhas de planejamento e gerar o modelo 4D.

O sistema de fichas para os pacotes de trabalho colabora para a gestão das informações e traz praticidade para o gestor no acesso a todas as informações relacionadas ao pacote de trabalho. Porém, para manter o sistema de melhoria contínua por meio das fichas, é preciso ter uma estrutura de suporte dentro da empresa e o processo proposto é manual.

4.3.3 Avaliação das contribuições teóricas do método proposto

No campo teórico, o método proposto contribui para o gerenciamento do sistema de produção pois na etapa de projeto (PSP), auxilia no estudo de alternativas de organização da produção, na transparência das informações de projeto para os envolvidos, no estudo dos fluxos de trabalho, de recursos e de processos, dentro outros. Na etapa de operação, oferece um método para interação entre os três horizontes de planejamento e na etapa de melhoria, fornece um instrumento para o estabelecimento dos padrões planejados e deste modo possibilita a comparação com o realizado, facilitando a identificação das oportunidades de melhoria.

Em relação à LdB, o método proposto aponta uma direção para a colaboração da modelagem BIM 4D com a formulação dos PT pertencentes a LdB. Além de facilitar a visualização dos PT que compõem a LdB. Também, auxilia a aplicação do BCIM, por identificar os elementos de construção, recursos, custos e atividades que podem ser utilizados pelo BCIM e LdBA. A aplicação do planejamento baseado em locais de pacotes de trabalho no estudo empírico 1 demonstrou os possíveis benefícios do uso dessa técnica.

Para o conceito do PT, o método proposto retoma a discussão sobre as possibilidades de aplicação desse conceito e introduz o uso da modelagem BIM 4D no seu desenvolvimento, aumentando a transparência do escopo de cada PT para os envolvidos e possibilitando a maior dinâmica e participação das equipes durante a formulação de cada PT. A Figura 73 apresenta a comparação entre a ficha proposta por Raz e Globerson (1998) e a ficha de PTE elaborada pelo método proposto. Na ficha 1, são expostas informações de identificação do PT, de recursos, relações de precedência e de planejamento e controle do avanço. Na ficha 2, são expostas informações de identificação do PT, de ciclo de produção, de escopo, dispositivo visual da meta de produção, de recursos, de projeto, de local de execução, das condições externas/riscos e de segurança do trabalho, atendendo às sete pré-condições para execução do PT segundo Koskela (2000).

Figura 75 – Comparação entre fichas de PT, Ficha 1 e Ficha 2 respectivamente.

Work Package Definition Form				
Identification:				
Project Name _____	Project Code _____	Project Manager _____		
WP Name _____	WP Code _____	WP Owner _____		
Deliverables _____				
Revision No. _____	Date _____	Previous Revision _____		
Resource Requirements:				
Human Resources	Quantity	Other Resources	Quantity	Cost
Hardware Engineer _____	_____	Subcontractor _____	_____	_____
Software Engineer _____	_____	Equipment _____	_____	_____
Editor _____	_____	Materials _____	_____	_____
Programmer _____	_____	Facilities _____	_____	_____
Other _____	_____	Other _____	_____	_____
Total Budget for the Work Package: _____				
Dependencies:				
Required Inputs _____				
Required Coordination _____				
Completion Criteria _____				
Immediate Successors _____				
Risks _____				
Schedule:				
Duration (days/weeks) _____				
Early Start _____	Late Start _____	Scheduled Start _____		
Early Finish _____	Late Finish _____	Scheduled Finish _____		
Progress Control:				
Criteria for Performance Measurement _____				
Internal Milestones/Expected Date _____				

Approvals:				
Responsible Party Name _____	Signature _____	Date _____		
WP Customer Name _____	Signature _____	Date _____		
Project Manager Name _____	Signature _____	Date _____		

Nº - PACOTE DE TRABALHO ESTRATÉGICO: PTE-EXEMPLO			
PACOTE DE TRABALHO		EXEMPLO	
CICLO DE PRODUÇÃO		10	dias
Responsável:	Eng. Leonor do Correia	Data:	17/02/2019
Desenvolvido por:		Revisão nº:	0
ESCOPO			
DISPOSITIVO VISUAL - META DO PACOTE DE TRABALHO			
			
		META PRODUÇÃO x m ² y m ²	
1) Material			
Descrição	Área	Volume	
2) Mão de obra			
Descrição	Produtividade	Homens-hora	Quantidade
3) Equipamentos			
Descrição	Quantidade	Volume/dia	
4) Especificações de Projeto		5) Local de Execução	
SEM PENDÊNCIAS		PAVIMENTO TIPO	
Relações de Precedência			
PTE-DICA SUZANA		SUCESSORA	
PTE-PRE-CRESSOR		PRE-SUCCESSOR	
7) Condições externas / Riscos			
xxx			
8) Segurança do Trabalho			
yyy			

Fonte: Ficha 1 Raz e Globerson (1998) e ficha 2 elaborado pelo autor.

Um dos principais objetivos do método proposto é alcançar o fluxo estável nos processos de produção dos empreendimentos em que é aplicado, corroborando com os princípios do *lean construction*. O *Last Planner System* é aplicado para gerenciar a variabilidade dos fluxos da construção. A sugestão de integração do método proposto com o LPS é apresentada no “Passo 5” do estudo empírico 3. A Figura 74 faz a comparação entre os 11 princípios descritos por Koskela (1992) para gestão dos processos na produção e as contribuições do método proposto.

Em relação aos avanços para o BIM 4D, o método proposto traz uma abordagem que aproxima a equipe de obra do modelo BIM 4D, possibilitando a discussão do planejamento de obra nos três níveis de planejamento com o balanceamento de atividades e obtenção de quantitativos de modo mais rápido e assertivo. A possibilidade de se obter benefícios apenas com a modelagem do pavimento tipo, pode facilitar a adoção da modelagem pelas empresas da construção pois reduz o tempo e o custo de desenvolvimento do modelo BIM 4D. Os modelos desenvolvidos para aplicação do método proposto, consideraram as necessidades do uso da equipe de obra no seu desenvolvimento, conceitos como construção virtual (*e. g.* modelagem de chapisco, reboco, massa corrido como paredes separas) e projeto para produção (detalhamento dos ciclos de produção do pavimento tipo com a modelagem BIM 4D) foram aplicados.

Figura 76 – Relação entre os 11 princípios de Koskela (1992) e o método proposto.

11 Princípios para gestão dos processos na produção (KOSKELA, 1992)		BIM 4D na formulação de pacotes de trabalho
1	Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	Visualização dos fluxos de trabalho e fluxos de recurso para análise dos desperdícios
2	Aumentar o valor do produto por meio da consideração sistemática das necessidades dos clientes	Mais comunicação entre os clientes internos do processo
3	Reduzir a variabilidade	Estabilização dos ciclos de produção
4	Reduzir o tempo de ciclo	Análise no nível operacional dos ciclos de produção
5	Simplificar o processo através da redução do número de passos ou partes	Melhora na análise e visualização dos pacotes de trabalho para rearranjo das atividades e redução da rede
6	Aumentar a flexibilidade de saída	Facilita a redução da unidade de repetição, diminuindo o tamanho do lote
7	Aumentar a transparência do processo	Visualização 4D dos pacotes de trabalho que compõem o processo de execução da unidade de repetição
8	Focar o controle no processo global	Maior controle de todos os pacotes de trabalho da linha de balanceamento
9	Introduzir melhoria contínua nos processos	Introdução das fichas de pacote de trabalho possibilitando a gestão da melhoria contínua
10	Balacear as melhorias de fluxo com a melhoria das conversões	Visualização e análise das atividades de conversão e fluxo
11	<i>Benchmarking</i>	Gestão do conhecimento com uso das fichas de pacote de trabalho e comparação com outros empreendimentos

Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo geral conceber um **método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D**. Foram desenvolvidos três estudos empíricos em duas empresas diferentes, com sistemas construtivos similares. As principais conclusões estão sintetizadas a seguir.

O escopo da pesquisa trabalha com um problema real e de relevância prática. Por este motivo, a estratégia de pesquisa adotada foi a *Design Science Research*.

Para o atingir o objetivo geral, foram desdobrados objetivos específicos. O primeiro objetivo específico de **modelar o BIM 4D para o pavimento tipo dos empreendimentos de construção civil escolhidos para os estudos empíricos da pesquisa, de acordo com a sua sequência executiva** foi alcançado com o desenvolvimento de dois modelos BIM 4D, contemplando as disciplinas de projeto solicitadas pelas empresas participantes dos estudos. A construção do modelo BIM 4D, além de ser ponto fundamental para o andamento da pesquisa, contribuiu nas análises nas áreas de projeto, engenharia e obra das empresas e no campo das possíveis aplicações da modelagem BIM 4D e formas de aproximar o modelo do canteiro de obras. O segundo objetivo específico **formular os pacotes de trabalho, com o uso do BIM 4D, que compõem a linha de balanceamento dos pavimentos tipo para os estudos empíricos da pesquisa nos três horizontes de planejamento e elaborar ou revisar a sua linha de balanceamento** foi cumprido com o desenvolvimento dos pacotes de trabalho nos três horizontes de planejamento para ambos os empreendimentos, a elaboração da linha de balanceamento para o empreendimento “A” e a análise da linha de balanceamento do empreendimento “B”.

O terceiro objetivo **gerar um instrumento para gestão dos pacotes de trabalho de obras repetitivas, visando a melhoria contínua no acompanhamento da obra** foi atingido no estudo empírico 3, com a demonstração da aplicação das fichas de pacote de trabalho no ciclo de melhoria contínua do sistema de produção do empreendimento. O quarto objetivo **identificar as contribuições práticas e teóricas do método na elaboração dos pacotes de trabalho de obras repetitivas e no planejamento e controle de obras** foi efetivado na etapa de consolidação da pesquisa.

O objetivo geral foi atingido com a proposta do método. Divido em cinco passos para formulação de pacotes de trabalho para obras

repetitivas, indica os procedimentos para elaboração dos pacotes de trabalho, com os desafios encontrados durante o seu desenvolvimento e os possíveis caminhos para a enfrentá-los.

Na avaliação das contribuições práticas do método proposto, foi constatado o aumento da transparência das decisões entre as equipes de projeto, engenharia e obra, contribuição para a discussão das estratégias de produção, análises dos fluxos de construção mais aprofundadas e a visualização de possíveis interferências que seriam mais difíceis de antecipar com o uso do modelo bidimensional. Por meio da estimativa do uso de equipamentos inseridas nas fichas de PT, a avaliação do sistema logístico pode ser conduzida com simulações baseadas em determinados instantes da LdB. Com a adição do método proposto ao planejamento da obra, pode-se aumentar a aderência entre as atividades executadas em obra e o planejado nos diferentes horizontes de planejamento, por melhorar a representatividade dos PT por meio do modelo BIM 4D e das fichas de PT que possibilitam o ciclo de melhoria contínua entre os diferentes níveis de planejamento.

A aplicação do desdobramento do PT e estudo dos ciclos de produção antecipou possíveis problemas de postergação de prazo. O desdobramento no nível operacional agrega maior valor quando aplicado a processos com maior complexidade, menos domínio por parte das equipes de execução ou mais automatizados. Igualmente, auxilia no estudo da implementação de novas tecnologias, com o objetivo de analisar a viabilidade de sua aplicação no sistema construtivo.

O sistema de fichas para os pacotes de trabalho colabora para a gestão das informações, traz praticidade para o dia a dia do gestor no acesso a todas as informações relacionadas ao pacote de trabalho e propõe uma integração com o *Last Planner System*, facilitando a melhoria contínua do sistema de produção, porém necessita de maior estrutura para sustentar o seu funcionamento. Na avaliação das contribuições teóricas, pode-se citar alguns conceitos que o método proposto contribui como o Projeto do Sistema de Produção, Projeto do Sistema de Operação, Planejamento baseado em locais, Linha de Balanceamento, Pacotes de Trabalho, BIM 4D, *Lean Construction* e *Last Planner System*.

Dentre as dificuldades encontradas na aplicação do método proposto, pode-se citar: as alterações de projeto que alteram o modelo BIM 4D e por consequência os pacotes de trabalho, o processo de elaboração das fichas de pacotes de trabalho (por ser manual), um maior suporte em obra para o controle dos PTOs, a necessidade de um computador que opere os *softwares* de modelagem e de um dispositivo visual (retroprojetor, monitor acima de 30") para o desenvolvimento do

método em obra, fatores culturais de aceitação das metas estabelecidas pelos PT, principalmente as metas diárias de produção, a alta rotatividade dos funcionários no setor da ICC por dificultar a implementação das fichas de PT e seu uso como instrumento de melhoria contínua.

Em síntese, conclui-se que o método proposto busca aproximar o BIM do canteiro de obras, por meio de aplicações simplificadas mas que possam agregar valor na visão da equipe de projeto e engenharia e que facilite a gestão da equipe de obra, com um modelo virtual que possa representar a realidade daquilo que será executado, possibilitando a gestão antecipada de possíveis conflitos nos fluxos de trabalho e recursos, evitando retrabalhos, reduzindo a variabilidade do sistema produtivo com a estabilização dos ciclos de produção estabelecidos para os pacotes de trabalho da linha de balanceamento.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas oportunidades para trabalhos futuros:

- a) Aplicar o método em outras tipologias de edifícios, com maior complexidade de sistemas como edifícios comerciais, hospitais, hotéis e em obras de infraestrutura com unidades de repetição, como estradas, pontes, entre outras;
- b) Após o desdobramento no nível operacional, aprofundar os estudos e simulações dos fluxos de trabalho e dos fluxos de recursos para subsidiar possíveis avanços na indústria 4.0 e aplicações da construção enxuta;
- c) Ampliar a aplicação do método para criar banco de dados de fichas de pacotes de trabalho de serviços similares e realizar o *benchmarking* entre os empreendimentos envolvidos;
- d) Explorar as vantagens e desvantagens de diferentes dispositivos visuais, como quadros, *tablets*, celulares, monitores etc. na interação das fichas de pacote de trabalho com o canteiro de obras.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. *et al.* Setor de Construção Civil: segmento de edificações. Brasília, **SENAI/DN**, 2005. 159 p. il. (Série Estudos Setoriais, 5).

ACEBES, Fernando et al. A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 3, p. 423-434, 2014.

AKEN, J. E. V. Management Research as Design Science: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. **British Journal of Management**, vol. 16, pp. 19-36, 2005.

AKEN, J. E. V. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

AKINCI, Burcu; FISCHER, Martin; KUNZ, John. Automated generation of work spaces required by construction activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 4, p. 306-315, 2002.

ALVES, T. C. L. *et al.* Sistemas de remuneração e incentivos da mão-de-obra na construção civil e a implementação de novas filosofias de produção: um estudo exploratório. In: ENCONTRO DE GESTÃO DE PESSOAS E RELAÇÕES DE TRABALHO, 1., 2007, Natal. **Anais...** Natal: EnGPR, 2007. p. 01-15.

AQUINO, J. P. R.; MELHADO, S. B. O estabelecimento de parcerias entre empresas construtoras, projetistas e fornecedores como instrumento de melhoria no uso de projetos para produção na construção de edifícios. In: III Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG. 2003.

ARDITI, David; TOKDEMIR, Onur B.; SUH, Kangsuk. Challenges in line-of-balance scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 6, p. 545-556, 2002.

AZHAR, S.; AHMAD, I.; SEIN, M. K. Action Research as a Proactive Research Method for Construction Engineering and Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 136, pp. 87-98, 2010.

BALLARD, G. 1999. Work Structuring, **White Paper #5**. Las Vegas, NV: Lean Construction Institute.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Tese de Doutorado. University of Birmingham.

BALLARD, G. *et al.* Production system design in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2001.

BALLARD, G. *et al.* Production control principles. In: Proceedings of the 17th annual conference of the International Group for Lean Construction. 2009. p. 489-500.

BALLARD, G.; HAMZEH, F. R. (2007). The Last Planner Production Workbook Improving Reliability in Planning and Workflow, 2nd Edition, **Lean Construction Institute**, San Francisco, California, USA, pp. 81.

BALLARD, G.; HOWELL, G (1998). Shielding Production: Essential Step in Production Control. **Journal of Construction Management and Engineering**, ASCE, New York, NY, 124 (1) 11-17.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Lean project management. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 119-133, 2003.

BARBOSA, Ana Cláudia Monteiro. **A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia**. 2014. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico

BATTI, Caetano Fontana Bez *et al.* Aplicação da técnica da linha de balanço como auxílio ao planejamento e controle de um projeto de construção de um edifício um estudo de caso. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO), Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa-PR. 2013

BARBOSA, George *et al.* Implementing lean construction effectively in a year in a construction project. In: Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). 2013.

BARCO, C. F.; VILLELA, F. B. Análise dos sistemas de programação e controle da produção. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, v. 13, 2008.

BERTELTSEN, S. Lean Construction: Where are we and how to proceed. **Lean Construction Journal**, v. 1, n. 1, p. 46-69, 2004.

BERTELTSEN, S. *et al.* Critical Flow – Towards a Construction Flow Theory. In: 14 International Group of Lean Construction, Santiago. 2006.

BIOTTO, Clarissa Notariano. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

BIOTTO, Clarissa Notariano; FORMOSO, Carlos Torres; ISATTO, Eduardo Luis. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente construído**: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre. vol. 15, n. 2 (abr./jun. 2015), p. 79-96, 2015.

BIOTTO, C. *et al.* Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools. In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9-12 Julho 2017, Heraklion, Grécia.

BJÖRNFOT, Anders; JONGELING, Rogier. Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning. **Construction innovation**, v. 7, n. 2, p. 200-211, 2007.

BORTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o**

uso de BIM 4D. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Program de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BRODETSKAIA, I.; SACKS, Rafael; SHAPIRA, Aviad. Stabilizing production flow of interior and finishing works with reentrant flow in building construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 6, p. 665-674, 2012.

BULHÕES, Iamara Rossi; PICCHI, Flávio Augusto. Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 205-223, 2011.

BUREK, P. Influence of the scope statement on the WBS. In: PMI Global Congress 2011 - North America. PMI. Dallas. 2011.

BALLARD, G. Work structuring. **White Paper**, Lean Construction Institute, Las Vegas. 1999.

BØLVIKEN, T.; ASLESEN, S.; KOSKELA, L. What is a good plan?. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Perth, Australia, Julho 29-31, pp. 93-102. 2015

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, p. 77-87, 2011.

CHALITA, Ana Cristina Catai. **Estrutura de um projeto para produção de alvenarias de vedação com enfoque na construtibilidade e aumento de eficiência na produção.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.

CHAVES, Fernanda Justin. **Recomendações para o uso de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de retrofit.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 2015.

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization. **Journal of construction engineering and management**, v. 130, n. 4, p. 598-606, 2004.

CHOO, Hyun Jeong *et al.* WorkPlan: Constraint-based database for work package scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 3, p. 151-160, 1999.

CHUA, D. K. H.; SHEN, L. J.; BOK, S. H. Constraint-Based Planning with Integrated Production Scheduler over Internet. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, 129 (3), pp. 293-301. 2003.

CONTE, Antonio Sérgio Itri. Lean Construction: O Caminho para a excelência operacional na Construção Civil. **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, p. 497-510, 1997.

CONTE, Antonio Sergio Itri. Last planner, look ahead, PPC: A driver to the site operations. In: Proceedings IGLC. 1998. p. 1.

CONTE, Antonio Sergio Itri; GRANSBERG, Douglas. Lean construction: From theory to practice. **AACE International Transactions**, p. CS101, 2001.

CORRÊA, Leonardo de Aguiar; MARCHIORI, Fernanda Fernandes. 4d Bim na construção civil e sua relação com *Lean Construction*: Revisão Sistemática da Literatura. In: X Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2017.

CROTTY, R. The Impact of Building Information Modelling: Transforming Construction. **Spon Press**, Oxon. 2012

DE BRITO, Douglas Malheiro; FERREIRA, Emerson de Andrade Marques. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 203-223, 2015.

DEMIRDOVEN, Julide. Resource Optimization Using 4D Scheduling Techniques with Location-Based Systems. **Journal of the National Institute of Building Sciences**. 2015.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling**. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2008

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

ELBELTAGI, Emad; DAWOOD, Mahmoud. Integrated visualized time control system for repetitive construction projects. **Automation in Construction**, v. 20, n. 7, p. 940-953, 2011.

FABRICIO, Marcio M.; MELHADO, Silvio B. O Papel do Projeto para Produção na Construção de Edifícios. In: Seminário Internacional. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo – NUTAU. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FENATO, Thalmus Magnoni et al. Method for elaborating operational Bill of quantities through BIM authoring software. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 279-299, 2018.

FERREIRA, E. A.; COSTA, C. F.; ROSA, L. J. Criação Automática de EAP em BIM a Partir de Programação Visual Computacional. In: X Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2017.

FIRAT, Can Ersen *et al.* Model Based Scheduling in Building Projects– Is It Oxymoron?. In: 24th CIB W78 Conference. 2007.

FIRAT, Can Ersen; ARDITI, David; KIIRAS, Juhani. Advanced Line of Balance Method (ALoB) in Partly-Repetitive Model-Based Scheduling. In: Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V) “Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology” May 20-22, 2009, Istanbul, Turkey

FISCHER, M. *et al.* Combining different project modelling approaches for effective support of multi-disciplinary engineering tasks. In: P. Brandon, Li, H., Shaffii, N., Shen, Q. (eds) INCITE 2004 - International Conference on Information Technology in Design and Construction, Langkawi, Malaysia, 167-182. 2004.

FORMOSO, C. T.; SANTOS, A. D.; POWELL, J. A. An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites. **J. Constr. Res.**, 3 1, 35–54. 2002.

FORMOSO, C. T.; MOURA, C. B. Evaluation of the impact of the Last Planner System on the performance of construction projects. In: Proceedings of 17th Annual Conference of the International Group of Lean Construction. 2009. p. 153-164.

FORMOSO, C. T.; SOMMER, L.; KOSKELA, L.; ISATTO, E. L. An exploratory study on the measurement and analysis of making-do in construction sites. In: 19th International Group for Lean Construction Annual Conference, 2011, Lima, Peru, 2011.

FRANDSON, A. G.; SEPPÄNEN, O.; TOMMELEIN, I. D. Comparison between location-based management and Takt Time Planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia. 2015

FRANDSON, A., BERGHEDE, K. and TOMMELEIN, I. Takt-time planning for construction of exterior cladding. In: Proc. 21st Ann. Conf. Int'l. Group for Lean Constr. Fortaleza, Brazil, August 31-2. 2013.

FRANDSON, Adam; BERGHEDE, Klas; TOMMELEIN, Iris D. Takt-time planning and the last planner. In: Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Group for Lean Const. 2014. p. 23-27.

FUJIMOTO, Takahiro. The evolution of a manufacturing system at Toyota. **Oxford university press**, 1999.

GAO, Shang; LOW, Sui Pheng. The Toyota Way model: an alternative framework for lean construction. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 25, n. 5-6, p. 664-682, 2014.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. North River Press. 1986

HAMZEH, Farook; BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris D. Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. **Lean Construction Journal**, 2012.

HARDIN, B. **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**, Sybex, 2009.

HARRIS, R. B.; IOANNOU, P. G. Scheduling projects with repeating activities. **Journal of construction engineering and management**, 124 (4), 269–278. 1998.

HALPIN, Daniel W. **Financial and cost concepts for construction management**. John Wiley, 1985.

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R.W. **Construction management**. 2^a Ed., John Wiley e Sons. 1998.

HEESOM, David; MAHDJOUBI, Lamine. Trends of 4D CAD applications for construction planning. **Construction management and economics**, v. 22, n. 2, p. 171-182, 2004.

HEGAZY, T.; KAMARAH, E., 2008. Efficient repetitive scheduling for high-rise construction. **Journal of construction engineering and management**, 134 (4), 253–264.

HENRICH, G.; TILLEY, P.; KOSKELA, L. Context of production control in construction. In: Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia. 2005.

HEVNER, A. R. *et al.* Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, vol. 28, pp. 75-105, 2004.

HOCHHALTER J. *et al.* Coupling Damage-Sensing Particles to the Digital Twin Concept. **NASA Center for AeroSpace Information**, 2014; Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20140006408>

HOLMSTROM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A. P. "Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Design Sciences**, vol. 40, pp. 65-87, 2009.

HOPP, W. J. and SPEARMAN, M. L. **Factory Physics, McGraw-Hill International Editions**, second edition. 2000.

HUANG, M. *et al.* A simulation and comparative study of the CONWIP, Kanban and MRP production control systems in a cold

rolling plant. **Production Planning & Control**, v. 9, n. 8, p. 803-812, 1998.

HYDE, W.F., 1981b. Improving Productivity by Classification, Coding and Data Base Standardization: **The Key to Maximizing CADrCAM and Group Technology**. Marcel Dekker, New York.

HYER, Nancy Lea; BROWN, Karen A. The discipline of real cells. **Journal of operations management**, v. 17, n. 5, p. 557-574, 1999.

IBRAHIM, Y. M. et al. Towards automated progress assessment of workpackage components in construction projects using computer vision. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n. 1, p. 93-103, 2009.

INTERGRAPH CORPORATION. SmartPlant® Construction. **Streamline construction and integrate engineering to improve CAPEX efficiency**. 2002. Disponível em: <http://www.intergraph.com/ppm/spc.aspx>. Acesso em 18 abr. 2018.

ISAAC, S; CURRELI, M; STOLIAR, Y. Work packaging with BIM. **Automation in Construction**, v. 83, p. 121-133, 2017.

ISATTO, Eduardo L.; ZUCHETTI, Marcelo. Aplicação do mecanismo da função produção ao planejamento da produção seriada na construção. **In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1327, 2014.

JASTI, Naga Vamsi Krishna; KODALI, Rambabu. Lean production: literature review and trends. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 3, p. 867-885, 2015.

JOHANNESON, P.; PERJONS, A. E. **Design Science Primer: CreateSpace**, 2012.

JONGELING, Rogier. **A process model for work-flow management in construction**. Tese de Doutorado. Luleå tekniska universitet. 2006

JONGELING, Rogier *et al.* Quantitative analysis of workflow, temporary structure usage, and productivity using 4D models. **Automation in Construction**, v. 17, n. 6, p. 780-791, 2008.

JONGELING, Rogier; OLOFSSON, Thomas. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 189-198, 2007.

JUNIOR, Auada; SCOLA, Alexandre; CONTE, Antonio. Last planner as a site operations tool. In: Proceedings of the 6 th IGLC Conference, Guaruja, Sao Paulo, Brazil. 1998.

KEHILY, Dermot; UNDERWOOD, Jason. **Design Science: Choosing an appropriate methodology for research in BIM**. 2015.

KEMMER, Sérgio L.; HEINECK, Luiz Fernando Máhlmann; ALVES, Thaís da CL. Using the line of balance for production system design. In: Proceedings 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 16). 2008. p. 16-18.

KENLEY, R. Project micromanagement: practical site planning and management of work flow. In: S. Bertelsen, C.T. Formoso (Eds.), IGLC- 12, 12th Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingor, Denmark, 2004, pp. 194–205.

KENLEY, R. and Seppänen, O. Location-based management for construction: planning, scheduling and control. **Abingdon: Spon Press**. 2010

KIM, Jae-Jun; IBBS, C. William. Work-package–process model for piping construction. **Journal of construction engineering and management**, v. 121, n. 4, p. 381-387, 1995.

KIM, Yong-Woo; BALLARD, Glenn. Management thinking in the earned value method system and the last planner system. **Journal of management in engineering**, v. 26, n. 4, p. 223-228, 2010.

KHANZODE, A. *et al.* Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project, ITcon Vol. 13, **Special issue Case studies of BIM use**, pg. 324-342. 2008.

KOSKELA, L. 1992. Application of the new production philosophy to construction. Technical Rep. No. 72, **Center for Integrated Facility Engineering**, Dept. of Civil Engineering, Stanford Univ., Stanford, Calif. 1992.

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction, **VVT Technical Research Centre of Finland**. 2000.

KOSKELA, L. Making-do – The Eight Category of Waste. In: 12th Conference of the International Group for Lean Construction, 12, 2004, Denmark, 2004.

KOSKELA, L.; BALLARD, G. What Should We Require from a Production System in Construction? **Journal of Construction Research**, p. 1-8, 2003.

KOSKELA, L.; HOWELL, G.A. The underlying theory of project management is obsolete, **Project Management Institute**. 2002.

KOSKELA, L *et al.* The foundations of lean construction. **Design and construction: Building in value**, v. 291, p. 211-226, 2002.

KOSKELA, L. *et al.* If CPM is so bad, why have we been using it so long? In: The 22th International Group for Lean Construction conference, June 23-27, 2014, Oslo, Norway.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, p. 243-266. 1987.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. 2004.

LU, W.; LI, H. Building Information Modeling and Changing Construction Practices. **Automation in Construction**. 20, 99-100. 2011.

LUCKO, G.; ALVES, T. C. L.; ANGELIM, V. L. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and location-based scheduling. **Construction management and economics**, 32 (6), 575–594. 2014.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and Natural Science Research on Information Technology. **Decision Support Systems**, vol. 15, pp. 251-266, 1995.

MARCHIORI, Fernanda Fernandes. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. Pini, 2010.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese Doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENDES JUNIOR, Ricardo. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. Tese de Doutorado. Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil.

MENDES JUNIOR, R.; HEINECK, Luiz Fernando M. Towards production control on multistory building construction sites. In: Proceedings IGLC. 1999. p. 313.

MEREDITH, Jack R.; SHAFER, Scott M. Operations management for MBAs. **John Wiley & Sons**, 2009.

MONTEIRO, Ari. **Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOHR, W. E. **Project Management and Control (in the building industry)**, University of Melbourne, Department of Architecture and Building. 1979.

MOHR, W. E. **Project Management and Control. 5th edition**. Department of Architecture and Building, University of Melbourne, Melbourne, Australia, 1991.

MOURA, R. S. L. M.; HEINECK, L. F. M. Linha de Balanço—Síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras. Encontro Nacional de Tecnologia do **Ambiente Construído**, 2014.

NASCIMENTO, Daniel *et al.* Digital Obeya Room: exploring the synergies between BIM and lean for visual construction management. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 3, n. 1, p. 19, 2018.

OLAWALE, Yakubu; SUN, Ming. Construction project control in the UK: Current practice, existing problems and recommendations for future improvement. **International journal of project management**, v. 33, n. 3, p. 623-637, 2015.

OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Planejamento tradicional, Location-Based Management System e Last 265 Planner System: um modelo integrado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 265-283, jan./mar. 2016.

OLIVIERI, Hylton; SEPPÄNEN, Olli; GRANJA, Ariovaldo D. Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS). **Construction Management and Economics**, p. 1-16, 2018.

OLIVIERI, Hylton; GRANJA, Ariovaldo Denis; PICCHI, Flávio Augusto. Traditional planning, Location-Based Management System and Last Planner System: an integrated model. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 265-283, 2016.

OHNO, T. *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*, **Productivity Press**, Cambridge, Mass, 1988.

PEFFERS, K. *et al.* A Design Science Research: Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2008.

PATTUSSI, Flávio A. HEINNECK; FERNANDO, Luiz. A utilização de conceitos de produção enxuta na constituição de células de produção em obras de pequeno porte. In: Workshop desempenho de sistemas construtivos. 2006.

PAIXÃO, Luana; MOREIRA, Felipe; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado. Análise da variação de custos de células de produção em um condomínio horizontal. Analysis of costs variation of production cells in a horizontal condominium). In: ENTAC. Canela. **Anais... ANTAC**, 2010.

PEER, S.; SELINGER, S. Construction planning method by computer based on organizational requirements. **Building Research Station**, Technion–Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1973.

PERT Coordinating Group. DOD and NASA guide, **PERT cost systems design**. 1962.

PICCHI, F. A.; GRANJA, A. D. (2004). Aplicação do Lean Thinking ao fluxo de obra. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável/X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo.

PMI. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Sixth Edition. Newton Square (USA): **Project Management Institute** - PMI, 2017.

POKU, Stephen E.; ARDITI, David. Construction scheduling and progress control using geographical information systems. **Journal of computing in civil engineering**, v. 20, n. 5, p. 351-360, 2006.

QI, Qinglin *et al.* Digital Twin Service Towards Smart Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 72, n. 1, p. 237-242, 2018.

RAZ, Tzvi; GLOBERSON, Shlomo. Effective sizing and content definition of work packages. **Project Management Journal**, v. 29, p. 17-24, 1998.

RAD, Parviz F. Advocating a deliverable-oriented work breakdown structure. **Cost Engineering**, v. 41, n. 12, p. 35, 1999.

RECK, Raquel Hoffmann. **Proposta de método para integração da simulação de eventos discretos e visualização BIM 4D no projeto do sistema de produção**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

REISDORFER, Ana Carla. **Proposta de processo para a modelagem BIM 4D voltada ao planejamento e controle de obras**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina.

RODRIGUES, P. B. F. *et al.* A proposal to integrate the BIM model with the Last Planner system. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 301-317, 2018.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: **Lean Institute Brasil**, 2002.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of workflow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, 2009.

SACKS, Rafael *et al.* Interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968-980, 2010.

SANTOS, Adriana P. L.; MENDES JUNIOR, Ricardo. “Planejando um conjunto de 77 residências utilizando a linha de balanceamento e last planner”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE. 2001. 14p.

SALOMÉ, B.R. **Gerenciamento de escopo em projetos de TI: estudo de caso em uma instituição financeira brasileira.** Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

SAMANIEGO GALLARDO, Carlos Antonio. **Princípios e ferramentas do Lean Thinking na estabilização básica: diretrizes para implantação no processo de fabricação de telhas de concreto pré-fabricadas.** Dissertação (Mestrado). Campinas: Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Capinas, 2007.

SEPPANEN, Olli et al. A case study of line-of-balance based schedule planning and control system. In: 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings. International Group on Lean Construction, 2005. p. 271.

SEPPÄNEN, O *et al.* The combination of last planner system and location-based management system. **Lean Construction Journal**, v. 6, n. 1, p. 43-54, 2010.

SEPPÄNEN, O; EVINGER, Jake; MOUFLARD, Christopher. Effects of the location-based management system on production rates and productivity. **Construction management and economics**, v. 32, n. 6, p. 608-624, 2014.

SEPPÄNEN, O.; JUNNONEN, J. M. (2004): Task Planning as a Part of Production Control. In: IGLC 12, Elsinore, Denmark

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

SCHRAMM, F. K., Costa, D. B., and Formoso, C. T. The Design of Production Systems for Low-Income Housing Projects. In: Proc., 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2004.

SCHEER, Sergio *et al.* Um Estudo Sobre o Uso de TI em Canteiros de Obras na Região de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 11, 2006.

SCHEER, Sergio *et al.* On-site BIM model use to integrate 4D/5D activities and construction works: a case study on a Brazilian low-income housing enterprise. In: *Computing in Civil and Building Engineering*. 2014. p. 455-462.

SHAH, Rachna; WARD, Peter T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of operations management**, v. 25, n. 4, p. 785-805, 2007.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. Designing and managing the supply chain. 2. ed. USA: **McGraw-Hill**, 2003. 354 p.

SMALLEY, Art. The starting point for lean manufacturing: Achieving basic stability. **Management services**, v. 49, n. 4, p. 8-12, 2005.

SOU. Betänkandet från Byggsekt till Byggsektor (considerations for transition from construction sect to construction sector). **Finansdepartementet**, Stockholm, Sweden. 2000.

SPEARMAN, Mark L. WHITE PAPER SERIES TO PULL OR NOT TO PULL, WHAT IS THE QUESTION? PART I: WHAT IS LEAN?. **Factory Physics, Inc.** 2002.

SPEARMAN, Mark L.; WOODRUFF, David L.; HOPP, Wallace J. CONWIP: a pull alternative to kanban. **The International Journal of Production Research**, v. 28, n. 5, p. 879-894, 1990.

SPEAR, Steven and BOWEN, H. Kent Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard Business Review**, sept-oct, 96-106. 1999.

STURTS DOSSICK, Carrie; SCHUNK, Timothy K. Subcontractor schedule control method. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 133, n. 3, p. 262-265, 2007.

SU, Yi; LUCKO, Gunnar. Comparison and renaissance of classic line-of-balance and linear schedule concepts for construction industry. **Organization, technology & management in construction: an international journal**, v. 7, n. 2, p. 1315-1329, 2015.

SUZAKI, Kiyoshi. New manufacturing challenge: Techniques for continuous improvement. **Simon and Schuster**, 1987.

TAKEDA, H. et al. Modeling Design Process. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990.

TAKEDA, Hideaki; VEERKAMP, Paul; YOSHIKAWA, Hiroyuki. **Modeling design process. AI magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-37, 1990.

TAO, F. et al. Digital twin workshop: A new paradigm for future workshop. **Comput. Integr. Manuf. Syst.**, vol. 23, no. 1, pp. 1–9, 2017.

TEZEL, Algan; KOSKELA, Lauri; AZIZ, Zeeshan. Current condition and future directions for lean construction in highways projects: a small and medium-sized enterprises (SMEs) perspective. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 2, p. 267-286, 2018.

TOMMELEIN, Iris D.; BALLARD, Glenn. Look-ahead Planning: Screening and Pulling. **Technical Report No. 97-9**, Construction Engineering and Management Program, Civil and Environmental Engineering Department, University of California, Berkeley, CA, USA. 1997.

TSO, Cynthia CY. **Use of work structuring to increase performance of project-based production systems**. 2005. Tese de Doutorado. University of California, Berkeley.

TSAO, C. C. Y. *et al.* Case Study for Work Structuring: Installation of Metal Door Frames. In: Proc. 8th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr., IGLC-8, July 17-19, Brighton, UK. 2000.

TUBINO, Dálvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. Editora Atlas SA, 2000.

VAN AKEN, J E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

VATNE, Mats Erik; DREVLAND, Frode. Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study. **Int. Gr. Lean Constr.**, n. 173, p. 173-182, 2016.

YANG, I.-Tung; IOANNOU, Photios G. Resource-driven scheduling for repetitive projects: A pull-system approach. In: Proceedings of the 9th International Group for Lean Construction Conference, Singapore. 2001. p. 365-377.

ZHANG, Sijie *et al.* Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. **Automation in Construction**, v. 60, p. 74-86, 2015.

ZHANG, Shuguo; LIANG, Ce. Research on Construction Schedule Control Based on Critical Chain Method and BIM. **Journal of Applied Science and Engineering Innovation**, v. 5, n. 2, p. 47-50, 2018.

ZHONG, Denghua; REN, Bingyu; WU, Kangxin. Construction simulation and real-time control for high arch dam. **Transactions of Tianjin University**, v. 14, n. 4, p. 248-253, 2008.

WANG, H. J. *et al.* 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. **Automation in Construction**, v. 13, n. 5, p. 575-589, 2004.

WEBB, R. M.; HAUPT, T. C. The Potential of 4D CAD as tool for construction management. In: ISSA, R. R.; FLOOD, I.; O'BRIEN, W. J. (Eds.). 4D CAD and visualization in Construction: developments and applications. Lisse/Abingon/Exton (PA): A. A. Balkema Publishers, 2005.

WOMACK, James P. *et al.* **Machine that changed the world.** Simon and Schuster, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and create Wealth in your Corporation.** Simon and Schuster, New York, N.Y. 1996.Z

APÊNDICE A – Formulário de Entrevista para Avaliação Prática

		FORMULÁRIO ENTREVISTA AVALIAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO PROPOSTO	
Data:		Nome entrevistado:	
Local:		Função na empresa:	
Horário:		Tempo de empresa:	
Duração:		Contato:	
PERGUNTAS			
Utilidade:			
A modelagem BIM 4D do pavimento tipo é útil para auxiliar nas decisões entre as equipes de projeto, engenharia e obra?			
A elaboração da sequência executiva BIM 4D, demonstrando o avanço físico dos pacotes de trabalho da linha de balanceamento, colabora na discussão das estratégias de produção do pavimento tipo?			
Qual a contribuição que você enxerga no uso das fichas de pacote de trabalho para gestão da obra?			
Facilidade de Uso:			
O método proposto facilita a elaboração da linha de balanceamento?			
A discussão do ciclo de produção no nível operacional (dia a dia) é facilitada com o uso do modelo?			
O manuseio das fichas de pacote de trabalho em obra é prático para a troca das informações dos envolvidos na			